



Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

Proyecto Final de Carrera:

SISTEMA DE PRE-PROCESADO DE IMÁGENES PARA LOCALIZACIÓN DE PERSONAS

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL EN ELECTRONICA INDUSTRIAL

AUTOR: Ángel José de Dios Bragado
TUTOR y DIRECTOR: Raúl Sánchez Reíllo
CO-DIRECTORES: Raúl Alonso Moreno
M^º Belén Fernández Saavedra

Leganés, 15 julio de 2013

Dedicatoria:

Dedico el proyecto a todos los docentes y a mis compañeros, que me han enseñado y apoyado, demostrando que creían en mí trabajo. Así como a mis hijos, esposa, padres y hermanos que son mi fuente de ánimo e inspiración.

Abstract

The goal of the pre-processing stage is to detect and locate the position of the faces that appear in an image regardless of their pose, orientation or lighting conditions.

To solve the problem of locating the faces, is to use the information of the three colours in the RGB representation format is delivered by many of the cameras on the market.

This paper presents a solution to part of the problem of locating faces in images that our human vision system together with our brain, resolved in a seemingly simple. Facial ellipse is located, through a set of points that define the polygon within which is expensive and also the possible rectangle which is inscribed the abovementioned ellipse or polygon.

Chapter 1 "Introduction" presents the objective, description of solution and organization of project. Chapter 2 "A historical tour" means a journey from the beginnings of the need to locate people and the different methods developed. Chapter 3 "Project Objectives" talks about what you want to achieve. Chapter 4 "Specifications and Design" presents the work giving the specifications, requirements and architecture meet. Chapter 5 "Analysis of the solution" makes a brief introduction to the tools, functions, modules, and a description of the main parts used in development. Chapter 6 "Development of the solution" Chapter 7 "Results" presents some experimental results are used to show the advantages and disadvantages. Chapter 8 "Conclusions and future lines of work" speaks of the conclusions reached and discusses future works. Chapter 8 "Bibliography" presents the literature. In the chapter on "Attachments" we can find web references of the images used and requested permission to use some of the images complying with the Data Protection Act.

The solution proposed herein began with the observation of what they have accomplished peers, learning what limitations found. In order to eliminate as many restriction. It has imposed the need to develop an application that is effective in achieving reliable and efficient results, allowing to apply the solution developed in the project, requiring systems work in real time. These basic objectives have been achieved, they can be improved (see Chapter 8 "Conclusions and future lines of work").

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	10
1.1	OBJETIVO	10
1.2	BREVE DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN	10
1.3	ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO	11
2	UN RECORRIDO HISTÓRICO	13
2.1	INTRODUCCIÓN HISTÓRICA	13
2.2	TRANSFORMADA DE HOUGH APLICADA A LA SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES	13
2.3	UTILIZACIÓN DE IMÁGENES PARA LA LOCALIZACIÓN DE PERSONAS	15
2.3.1	<i>Métodos basados en el conocimiento</i>	<i>15</i>
2.3.2	<i>Métodos de aproximaciones a características invariantes.....</i>	<i>16</i>
2.3.3	<i>Métodos de coincidencia de plantillas.....</i>	<i>19</i>
2.3.4	<i>Métodos basados en la apariencia.....</i>	<i>20</i>
2.3.5	<i>Métodos basados en video o fotogramas</i>	<i>21</i>
2.4	DISCUSIÓN.....	21
3	OBJETIVOS DEL PROYECTO	24
4	ESPECIFICACIONES Y DISEÑO	26
4.1	REQUISITOS	26
4.2	ESPECIFICACIONES	26
4.3	ARQUITECTURA DE LA APLICACIÓN	26
5	ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN.....	28
5.1	INTRODUCCIÓN AL DESARROLLO	28
5.2	PRIMER TRATAMIENTO	31
5.3	SEGUNDO TRATAMIENTO	39
5.4	POSICIONAMIENTO DE NIVELES DE LOS TRES COLORES.....	47
5.4.1	<i>Para la varianza.....</i>	<i>53</i>
5.4.2	<i>Para la mediana.....</i>	<i>54</i>
5.4.3	<i>Para la media.....</i>	<i>56</i>
6	DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	59
6.1	HERRAMIENTAS Y MODELO DE CONOCIMIENTO DE LA APLICACIÓN	59
6.2	SOLUCIÓN.....	60
6.2.1	<i>Adquisición y ajuste de la imagen.....</i>	<i>60</i>
6.2.2	<i>Tratamiento de los tres colores</i>	<i>62</i>
6.2.3	<i>Umbralización.....</i>	<i>64</i>
6.2.4	<i>Toma de parámetros</i>	<i>65</i>
6.2.5	<i>Estimación de las elipses.....</i>	<i>66</i>
7	RESULTADOS	69
7.1	TAMAÑO MÍNIMO:	69
7.2	CASOS EN LOS QUE LA CARA OCUPA TODA LA IMAGEN.....	70
7.3	GRUPO DE PERSONAS.....	71
7.4	PERSONAS A DIFERENTE DISTANCIA DE LA CÁMARA.....	72
7.5	PERSONA CON PELO MORENO	73

7.6	PERSONA CON PELO RUBIO.....	74
7.7	PERSONA PELIRROJA	74
7.8	PERSONA SIN PELO	75
7.9	PERSONAS CON ROPA EN COLOR NARANJA.....	76
7.10	PERSONAS SOBRE FONDO ANARANJADO	77
7.11	PERSONAS EN BAÑADOR	78
7.12	OBJETO DE COLOR NARANJA CON FORMA ELÍPTICA	79
7.13	PERSONAS EN POSICIÓN CIRCULAR	80
7.14	IMAGEN SIN PERSONAS.	81
8	CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....	82
8.1	CONCLUSIONES.....	82
8.1.1	<i>Ventajas.....</i>	<i>82</i>
8.1.2	<i>Inconvenientes.....</i>	<i>83</i>
8.2	FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....	83
	BIBLIOGRAFÍA	86
	<i>Trabajos consultados</i>	<i>86</i>
	<i>Nombre de las imágenes utilizadas y como se obtuvieron.</i>	<i>88</i>
	ANEXO A.....	94

INDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Transformadas de Hough de la Imagen transformada por la aplicación de Sobel [35].</i>	13
<i>Ilustración 2. Representación de las rectas con más puntos detectados [35]</i>	14
<i>Ilustración 3. Cálculos en la transformada de Hough modificada [1].</i>	14
<i>Ilustración 4. Localización de la cara por su forma y características por estimación de su localización en la elipse facial.</i>	16
<i>Ilustración 5. Agrupaciones de posibles características morfológicas de una cara.</i>	17
<i>Ilustración 6. Localización por segmentación de color o matiz de caras en distinta orientación.[32]</i>	18
<i>Ilustración 7. Localización de caras de personas de distinto color en la misma imagen en espacio RGB [36].</i>	18
<i>Ilustración 8. Localización de caras por reconocimiento de características faciales [9].</i>	19
<i>Ilustración 9. Plantilla compuestas de 16 regiones y 23 relaciones entre ellas [9].</i>	20
<i>Ilustración 10. Sistema multineuronal para la localización de cara y características faciales [9].</i>	20
<i>Ilustración 11. Partes que componen un sistema de seguimiento facial sobre video [9].</i>	21
<i>Ilustración 12. Etapas de una aplicación basada en la visión por computador [12].</i>	23
<i>Ilustración 13. Arquitectura de la aplicación y las operaciones que realiza.</i>	27
<i>Ilustración 14. Persona de raza blanca, observar la relación entre los niveles de color es $R < G < B$ [24].</i>	28
<i>Ilustración 15. Persona de raza negra, observar la relación entre los niveles de color es $R < G < B$ [22].</i>	28
<i>Ilustración 16. Persona de raza amarilla, observar la relación entre los niveles de color es $R < G < B$ [16].</i>	28
<i>Ilustración 17. Aplicando la condición $R > G > B$ y localización a una imagen con la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	29
<i>Ilustración 18. Aplicando la condición $R > G > B$ y localización a una imagen con la cara de una persona de raza negra [22].</i>	30
<i>Ilustración 19. Aplicando la condición $R > G > B$ y localización a una imagen con la cara de una persona de raza amarilla [16].</i>	30
<i>Ilustración 20. Aplicando la condición $R > G > B$ y localización a la imagen transformada con la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	31
<i>Ilustración 21. Aplicando la condición $R > G > B$ y localización a la imagen transformada con la cara de una persona de raza negra [22].</i>	32
<i>Ilustración 22. Aplicando la condición $R > G > B$ y localización a la imagen transformada con la cara de una persona de raza amarilla [16].</i>	32
<i>Ilustración 23. Espacio de representación de imágenes RGB, dentro del que se cumple la condición $R > G > B$.</i>	33
<i>Ilustración 24. Gráfica de valores del color rojo con marcado de áreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	33
<i>Ilustración 25. Gráfica de valores del color rojo con marcado de áreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza negra [22].</i>	34
<i>Ilustración 26. Gráfica de valores del color rojo con marcado de áreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza amarilla [16].</i>	34
<i>Ilustración 27. Gráfica de valores del color verde con marcado de áreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	35

<i>Ilustración 28. Grafica de valores del color verde con marcado de aéreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza negra [22].</i>	35
<i>Ilustración 29. Grafica de valores del color verde con marcado de aéreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza amarilla [16].</i>	35
<i>Ilustración 30. Grafica de valores del color azul con marcado de aéreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	36
<i>Ilustración 31. Grafica de valores del color azul con marcado de aéreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza negra [22].</i>	36
<i>Ilustración 32. Grafica de valores del color azul con marcado de aéreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza amarilla [16].</i>	37
<i>Ilustración 33. Resultado de aplicar la condición $R > G > B$ a la imagen trasformada, que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	37
<i>Ilustración 34. Resultado de aplicar la condición $R > G > B$ a la imagen trasformada, que contiene la cara de una persona de raza negra [22].</i>	38
<i>Ilustración 35. Resultado de aplicar la condición $R > G > B$ a la imagen trasformada, que contiene la cara de una persona de raza amarilla [16].</i>	38
<i>Ilustración 36. Evolucion de la imagen booleana ($R > G > B$) al modificar el nivel del color rojo en la imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	39
<i>Ilustración 37. Evolucion de la imagen booleana ($R > G > B$) al modificar el nivel del color verde en la imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	40
<i>Ilustración 38. Evolucion de la imagen booleana ($R > G > B$) al modificar el nivel del color azul en una imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	40
<i>Ilustración 39. Evolucion de la imagen booleana ($R > G > B$) al modificar el nivel del color rojo en una imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza negra [22].</i>	41
<i>Ilustración 40. Evolucion de la imagen booleana ($R > G > B$) al modificar el nivel del color verde en una imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza negra [22].</i>	41
<i>Ilustración 41. Evolucion de la imagen booleana ($R > G > B$) al modificar el nivel del color azul en una imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza negra [22].</i>	42
<i>Ilustración 42. Evolucion de la imagen booleana ($R > G > B$) al modificar el nivel del color rojo en una imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza amarilla [16].</i>	42
<i>Ilustración 43. Evolucion de la imagen booleana ($R > G > B$) al modificar el nivel del color verde en una imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza amarilla [16].</i>	43
<i>Ilustración 44. Evolucion de la imagen booleana ($R > G > B$) al modificar el nivel del color azul en una imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza amarilla [16].</i>	43
<i>Ilustración 45. Grafica de valores del color verde y del mismo después de recibir el tratamiento con marcado de aéreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	44
<i>Ilustración 46. Grafica de valores del color verde y del mismo después de recibir el tratamiento con marcado de aéreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza negra [22].</i>	45
<i>Ilustración 47. Grafica de valores del color verde y del mismo después de recibir el tratamiento con marcado de aéreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza amarilla [16].</i>	45
<i>Ilustración 48. Graficas de valores del color azul y del mismo después de recibir el tratamiento con marcado de aéreas de igual cota en una imagen con la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	46
<i>Ilustración 49. Graficas de valores del color azul y del mismo después de recibir el tratamiento con marcado de aéreas de igual cota en una imagen con la cara de una persona de raza negra [22].</i>	46

<i>Ilustración 50. Graficas de valores del color azul y del mismo después de recibir el tratamiento con marcado de aéreas de igual cota en una imagen con la cara de una persona de raza amarilla [16].</i>	<i>.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 51. Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color rojo en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	<i>..</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 52. Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color verde en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	<i>.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 53. Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color azul en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	<i>.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 54. Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color rojo en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza negra [22].</i>	<i>....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 55. Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color verde en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza negra [22].</i>	<i>.....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 56. Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color azul en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza negra. [22].</i>	<i>.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 57. Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color rojo en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza amarilla. [16].</i>	<i>50</i>	
<i>Ilustración 58. Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color verde en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza amarilla. [16].</i>	<i>.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 59. Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color azul en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza amarilla. [16].</i>	<i>.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 60. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la varianza que contiene la cara de una persona de raza blanca. [29].</i>	<i>.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 61. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la varianza que contiene la cara de una persona de raza negra [22].</i>	<i>.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 62. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la varianza que contiene la cara de una persona de raza amarilla [16].</i>	<i>.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 63. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la mediana que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	<i>.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 64. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la mediana que contiene la cara de una persona de raza negra [22].</i>	<i>.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 65. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la mediana que contiene la cara de una persona de raza amarilla [16].</i>	<i>.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 66. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la media que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].</i>	<i>.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 67. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la media que contiene la cara de una persona de raza negra [22].</i>	<i>.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 68. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la media que contiene la cara de una persona de raza amarilla [16].</i>	<i>.....</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 69. Imagen antes y después de la reducción [16].</i>	<i>.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 70. Imagen después del tratamiento [16].</i>	<i>.....</i>	<i>64</i>

<i>Ilustración 71.Imagen booleana resultante [16].</i>	65
<i>Ilustración 72.Cada campo de unos tiene un color [16].</i>	66
<i>Ilustración 73.Dibujado de los polígonos circunscritos [16].</i>	68
<i>Ilustración 74.Para una persona de raza blanca [28].</i>	
<i>Ilustración 75.Para una persona de raza negra [22].</i>	70
<i>Ilustración 76.Para una persona de raza blanca [28].</i>	
<i>Ilustración 77.Para una persona de raza negra [22].</i>	71
<i>Ilustración 78.Grupo de personas [30].</i>	71
<i>Ilustración 79.Personas a diferente distancia de la cámara [31].</i>	72
<i>Ilustración 80.Persona con pelo moreno [28].</i>	73
<i>Ilustración 81.Persona con pelo rubio [20].</i>	74
<i>Ilustración 82.Persona pelirroja [18].</i>	75
<i>Ilustración 83.Persona sin pelo [15].</i>	76
<i>Ilustración 84.Personas con ropa roja [23].</i>	77
<i>Ilustración 85.Personas sobre fondo anaranjado [17].</i>	77
<i>Ilustración 86.Personas en bañador [21].</i>	78
<i>Ilustración 87.Objeto de color naranja con forma elíptica [33].</i>	79
<i>Ilustración 88.Personas en posición circular [32].</i>	80
<i>Ilustración 89. Imagen sin personas [34].</i>	81

1 Introducción

1.1 Objetivo

El objetivo de la etapa de pre-procesado consiste en detectar y localizar la posición de las caras, que aparezcan en una imagen sin importar su pose, orientación o condiciones de iluminación.

Este documento presenta una solución, a una parte del problema de la localización de las caras de personas en imágenes, que el sistema de visión humano junto con nuestro cerebro, resuelven de un modo aparentemente sencillo. Se localiza la elipse facial, mediante un grupo de puntos que definen el polígono dentro del que se encuentra la posible cara y además el rectángulo en el que se encuentra inscrita la elipse o polígono antes citado.

La solución aquí planteada comenzó con la observación de lo que han realizado compañeros, aprendiendo qué limitaciones encontraron, con la finalidad de eliminar el mayor número de restricciones. Se ha impuesto la necesidad de desarrollar una aplicación, que sea eficaz a la hora de conseguir resultados fiables y eficientes, permitiendo aplicar la solución desarrollada en el proyecto, a sistemas que requieran trabajar en tiempo real. Estos objetivos de base han sido conseguidos, pudiendo mejorarse (ver capítulo 8 “Conclusiones y futuras líneas de trabajo”).

1.2 Breve descripción de la solución

Para dar solución al problema de localizar las caras, se utilizara la información de los tres colores, en el formato de representación RGB. Siendo el entregado por muchas de las cámaras del mercado.

El programa comenzará con la lectura del archivo de la imagen a tratar, seguidamente realiza una reducción de su tamaño, muestra que utilizara para la localización de las

posibles caras. Después obtendrá el negativo de la imagen reducida o muestra y utilizará los colores, con los que realizara operaciones algebraicas obteniendo una nueva imagen. Dando como resultado que las zonas de la piel de las personas, de cualquier raza que estén razonablemente iluminadas, queden dentro de unos valores de los tres colores R G B, para cada uno de sus pixeles que permita discriminarlos fácilmente del resto de los pixeles de la imagen. Pasando a aplicar la condición $R > G > B$, resultando una imagen binaria (matriz booleana), donde se observan formas elípticas, que podrán contener zonas de ceros, que corresponderían a las cejas, ojos, nariz, labios o cualquier otra característica facial.

Después se localizarán las zonas de la imagen binaria, que han quedado formadas, se calcularán una serie de características, que se utilizaran para determinar mediante unas condiciones, si se trata o no de una elipse. Pasando a tomar parámetros de las zonas de unos. Pasando posteriormente a decidir qué zonas son caras, si esos parámetros tomados de cada zona de unos, cumplen las condiciones impuestas. Para finalmente dibujar los polígonos y los rectángulos, en los que se inscribe el polígono de las posibles caras.

1.3 Organización del proyecto

El capítulo 2 “Un recorrido histórico”, hace un recorrido desde los comienzos de la necesidad de localizar a personas y los diferentes métodos desarrollados. El capítulo 3 “Objetivos del Proyecto”, habla de lo que se desea conseguir. El capítulo 4 “Especificaciones y diseño”, presenta el trabajo realizado, dando las especificaciones, requisitos que cumple y su arquitectura. El capítulo 5 “Análisis de la solución”, expone los pasos que han llevado a la solución, en los que se explica y justifica el desarrollo de este proyecto. El capítulo 6 “Desarrollo de la solución”, hace una breve introducción sobre la herramienta, las funciones, módulos y una descripción de las partes principales, utilizadas en el desarrollo. El capítulo 7 “Resultados”, expone algunos resultados experimentales, que se utilizaran para mostrar las ventajas e inconvenientes. El capítulo 8 “Conclusiones y futuras líneas de trabajo”, habla de las

conclusiones a las que se ha llegado y comenta futuras líneas de trabajo. La “Bibliografía” presenta los libros y trabajos publicados que se han consultado. Podemos encontrar las referencias web de las imágenes utilizadas e indicaciones sobre cómo se han obtenido otras. ANEXO A: Los permisos solicitados para utilizar algunas de ellas, para cumplir con la Ley de Protección de Datos.

2 Un recorrido histórico

2.1 Introducción histórica

La necesidad de desarrollar sistemas de visión artificiales, comenzó en los años 70, con la aparición de los satélites de mayor complejidad y las necesidades de los militares de los EEUU de hacer observaciones con detalle. Pero hasta los noventa no aparecieron aplicaciones en el mercado, a precios elevados. A mediados de los noventa se abarataron las aplicaciones, los sensores (cámaras) y los microprocesadores. Facilitando el desarrollo de aplicaciones específicas, basadas en el tratamiento digital de las imágenes [1].

2.2 Transformada de Hough aplicada a la segmentación de imágenes

En los noventa aparecen los primeros trabajos con desarrollos software, para la detección de rostros, pretendiendo localizar su forma elíptica, utilizando modificaciones de algoritmos, como el de la Transformada de Hough [1]. Utilizada en la detección de rectas, entrega en una matriz bidimensional, con un numero de filas y columnas, dependientes de la precisión elegida para el clasificador del ángulo formado por cada recta, con el eje “x” de la imagen y en el “y” por la distancia dada por la perpendicular a la recta que pasa por el origen de coordenadas de la imagen.

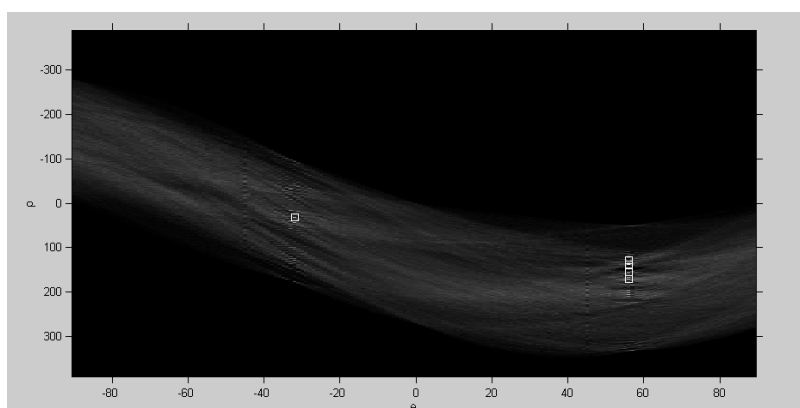


Ilustración 1. Transformadas de Hough de la Imagen transformada por la aplicación de Sobel [35].

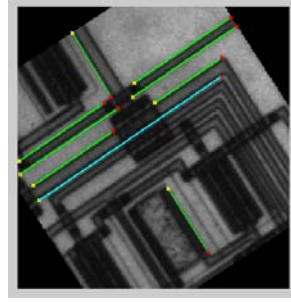


Ilustración 2. Representación de las rectas con más puntos detectados [35].

El primer paso era digitalizar la imagen y posteriormente pasarle un filtro laplaciano, para obtener los píxeles frontera de los objetos existentes en la imagen. Estos píxeles frontera, son los puntos donde se produce la mayor variación de intensidad en imágenes en blanco y negro. De cada uno de los puntos frontera se obtenían diversos parámetros como su posición y su ángulo respecto a la horizontal (eje “x”), mediante el uso de la transformada Hough modificada [1]. Al mismo tiempo, este proceso eliminaba las rectas que no pertenecen a ninguna elipse o figura cerrada en la imagen.

Los centros de las elipses, se obtienen sumando las coordenadas del mismo eje, para cada uno de los dos ejes y hallando la media, se obtienen las coordenadas del centro buscado.

Después se calcula la pendiente de la elipse mediante el eje de mínima inercia y el eje

“x”:

$$\beta = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2 * (m_{00} * m_{11} - m_{10} * m_{01})}{(m_{00} * m_{20} - m_{10}^2) - (m_{00} * m_{02} m_{01}^2)} \right)$$

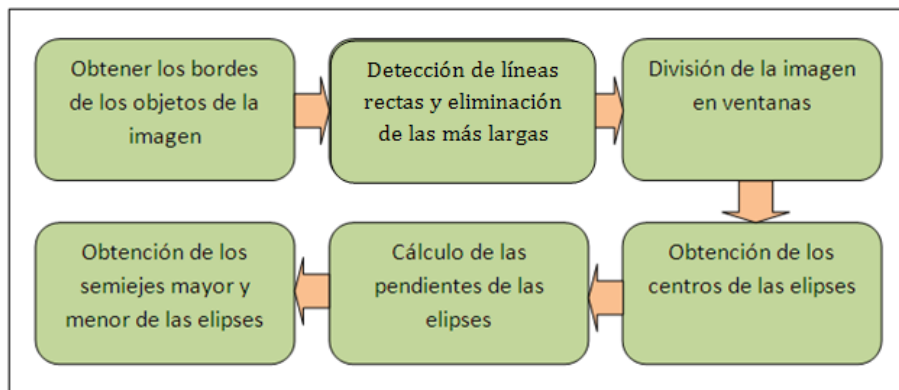


Ilustración 3. Cálculos en la transformada de Hough modificada [1].

Para la determinación de los ejes mayor y menor, se aplican los mínimos cuadrados.

Así la ecuación de una elipse centrada en el origen y con ángulo cero, viene dada por:

$$y^2 = b^2 - \frac{b^2}{a^2}x^2$$

Donde los parámetros a y b son los que se determinan y las coordenadas "x" e "y" son los distintos puntos que forman la elipse. Los parámetros se deben calcular minimizando la función de coste:

$$J = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \epsilon_j^2$$

Siendo $\epsilon_i = y_i^2 - \left(b^2 - \frac{b^2}{a^2}x_i^2\right)$ y N el número de puntos.

Un inconveniente es que hay que desplazar y girar la elipse, antes de aplicar el método de mínimos cuadrados, debido al método utilizado que hace las operaciones inversas (transformada de Hough modificada).[1]

2.3 Utilización de imágenes para la localización de personas

Se han desarrollado una gran variedad de sistemas con la finalidad de alcanzar el mismo objetivo, teniendo en cuenta similares circunstancias e incluyendo otras que buscan superar algunas dificultades. Los más destacados se pueden ver en las siguientes secciones.

2.3.1 Métodos basados en el conocimiento

Los métodos de detección facial basados en el conocimiento, se fundamentan en una

serie de reglas, definidas antes de la implementación del sistema. Generalmente estas reglas, capturan las relaciones entre rasgos faciales. Una cara aparece con frecuencia en una imagen con dos ojos, dos cejas, una nariz y una boca [3].

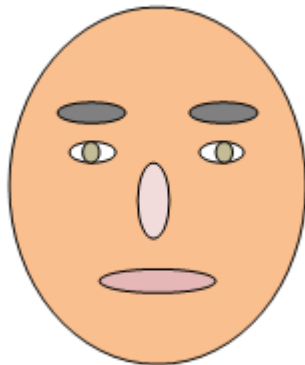


Ilustración 4. Localización de la cara por su forma y características por estimación de su localización en la elipse facial

Este tipo de métodos poseen varias desventajas, como la dificultad para la traducción del conocimiento humano en reglas bien definidas.

En el nivel más alto de la jerarquía, se buscan las posibles regiones que contenga una cara, aplicando reglas generales de cómo es una cara [2]. Esto se consigue disminuyendo la resolución de la imagen de entrada, reduciendo los datos a procesar. Estas regiones con posibles caras son enviadas hacia el siguiente nivel, en el que se ecualiza la imagen y se realiza una detección de bordes. Las normas del nivel superior son descripciones generales de lo que es una cara, mientras que las normas en los niveles inferiores son más estrictas [3] [5], y dependen de los detalles de los rasgos faciales.

2.3.2 Métodos de aproximaciones a características invariantes

Estos métodos, se basan en el hecho de que los seres humanos, sin esfuerzo pueden reconocer rostros u objetos en diferentes poses o condiciones de iluminación, por lo que deben existir propiedades o rasgos en los rostros que no cambian, a pesar de la variación de ciertas condiciones en la imagen. Los rasgos que se tratan de localizar son

principalmente los ojos, cejas, nariz, boca y ciertas relaciones entre ellos. Localizándolas utilizando detectores de bordes [7]. Basándose en las características extraídas, se construye un modelo estadístico para describir sus relaciones y verificar la existencia de una cara. Así plantean las siguientes soluciones:

- La detección de las características faciales, la realiza colocando una elipse para marcar el límite entre la región de la cabeza y el fondo (plantilla). El modelo se vale de rayas para representar los contornos de la cara, las cejas y los labios [2]. Dos configuraciones triangulares se utilizan para codificar la relación espacial entre las representaciones de las rayas.

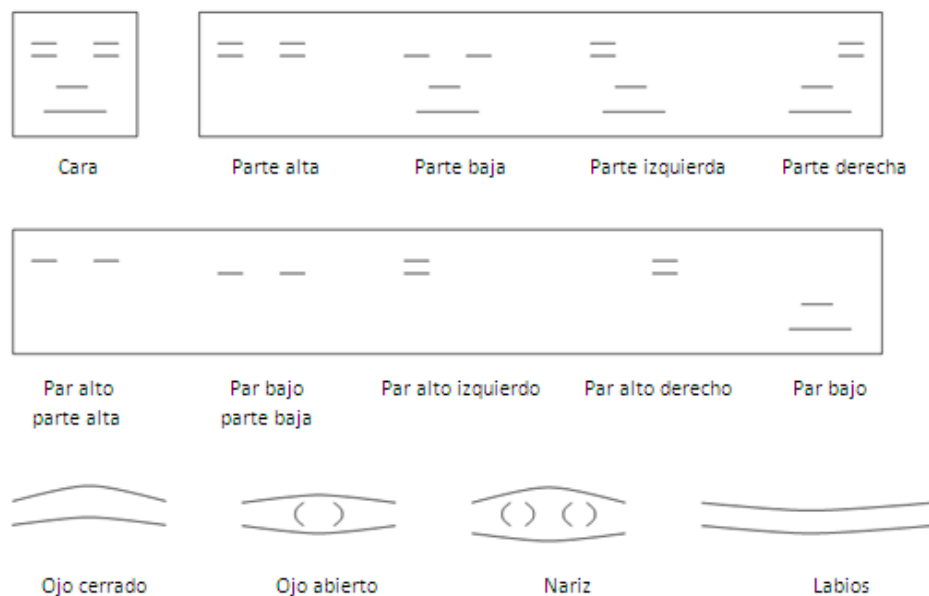


Ilustración 5. Agrupaciones de posibles características morfológicas de una cara [2].

- El uso de la textura en imágenes que contienen personas, con partes del cuerpo a la vista y son de coloraciones anaranjadas o próximas, incluidas las zonas de la cara, si se le da un tratamiento de mejora permite diseñar un plan de exploración, en la detección de rostros [5] [6]. Una de las ventajas de este método, es que puede detectar caras que no están en posición vertical o además tienen barba y gafas.



Ilustración 6. Localización por segmentación de color o matiz de caras en distinta orientación [32].

- El uso del color de la piel humana, ha demostrado ser una función eficaz en muchas aplicaciones de detección de rostros por seguimiento. A pesar de que diferentes personas tienen diferente color de piel [6]. Algunos estudios han demostrado, que la gran diferencia radica en la intensidad de la piel, en lugar de en su cromaticidad. Varios espacios de color han sido utilizados para etiquetar píxeles como piel incluyendo RGB, RGB normalizado, HSV (o HSI), YCrCb, YIQ, YCbCr, CIE XYZ y CIE LUV.



Ilustración 7. Localización de caras de personas de distinto color en la misma imagen en espacio RGB [36].

- La utilización de múltiples características, como características globales, así es el caso del color de la piel, el tamaño y la forma para encontrar posibles caras, y luego verifica estos candidatos utilizando características locales, tales como ojos, cejas, nariz y pelo [4] [5]. Un modelo típico comienza con la detección de regiones de la piel. A continuación, los píxeles tomados como piel, se agrupan

utilizando el análisis de componentes conectadas o algoritmos de agrupamiento. Si una región conectada tiene forma elíptica, se convierte en un candidato a cara. Por último, las características locales se utilizan para la verificación de la existencia de una cara en esa región.

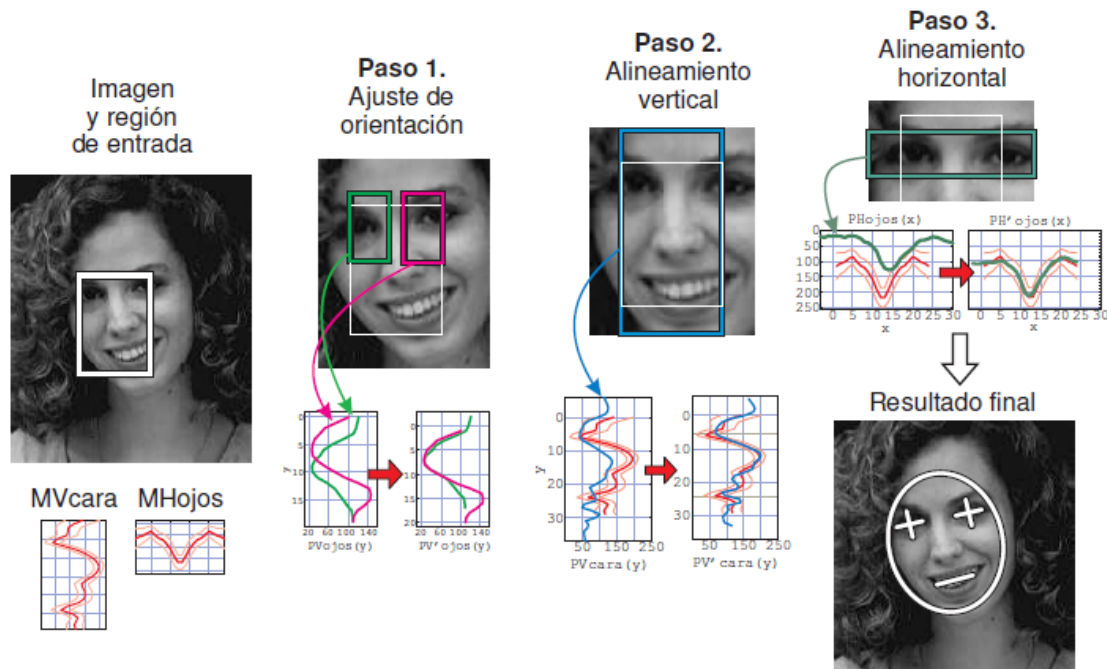


Ilustración 8. Localización de caras por reconocimiento de características faciales [9].

2.3.3 Métodos de coincidencia de plantillas

Son métodos que requieren de la predefinición manual o con parámetros de una función, lo que implica establecer restricciones, como por ejemplo, que las caras deben estar en posición vertical [2]. Dada una imagen de entrada, se calculan unos valores de correlación utilizando los patrones estándar para el contorno facial, los ojos, la nariz y la boca independientemente. La existencia de una cara se determina en base a los valores de correlación [3]. Estos métodos tienen como ventaja una implementación sencilla, sin embargo se ha probado que son ineficaces para la tarea de la detección facial, ya que no pueden tratar efectivamente la variación en escala, pose y forma de la cara. Este problema puede tener solución con el desarrollo de plantillas adaptables.

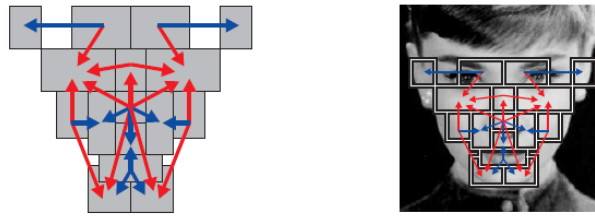


Ilustración 9. Plantilla compuestas de 16 regiones y 23 relaciones entre ellas [9].

2.3.4 Métodos basados en la apariencia

Estos métodos, se basan en técnicas de análisis estadístico y en aprendizaje automático, para encontrar las características relevantes de rostros, en imágenes con o sin rostros [4]. Las características aprendidas, toman la forma de modelos de distribución o funciones discriminantes, que son usadas para la detección [7] [8]. Los algoritmos de este tipo han demostrado muy buenos resultados empíricos, ya que suelen ser rápidos y robustos, pudiendo detectar rostros sin importar su pose y orientación. La desventaja está en que se tiene una etapa de entrenamiento que necesita gran cantidad de ejemplos positivos y negativos, para luego obtener buenos resultados.

- Las redes Neuronales, requieren ser entrenadas, para reconocer caras frontales. También pueden combinarse algunas de estas redes para mejorar el rendimiento total del sistema. Los datos usados para entrenar cada red varían los parámetros que la neurona guarda como aprendizaje de lo que debe encontrar [4] [7] [8].

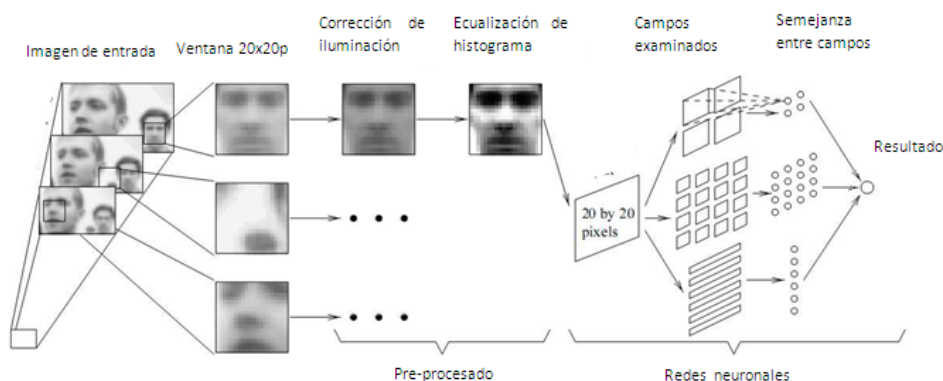


Ilustración 10. Sistema multineuronal para la localización de cara y características faciales [9].

Una de las ventajas de este método, es su habilidad para utilizar múltiples redes, entrenadas de manera diferente y por lo tanto proporcionar una decisión más exacta, en la localización de caras. Esto sólo es posible gracias a la naturaleza del método utilizado, simplemente entrenando redes individuales, con pequeñas diferencias en los datos de entrenamiento, obtenemos resultados completamente diferentes.

2.3.5 Métodos basados en video o fotogramas

En otros desarrollos se utilizan fotogramas, obtenidos de video, para localizar la situación de personas por su movimiento, localizando la cabeza o la cara y después consiguiendo el seguimiento de estas. Para lo que intenta verificar que es una cara localizando el movimiento de los labios, junto con otras características faciales [5].

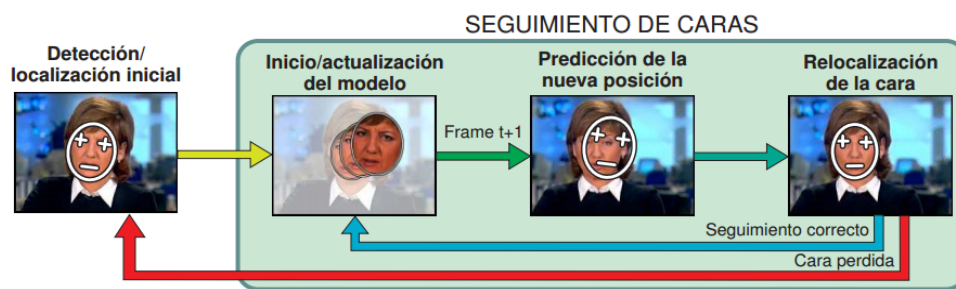


Ilustración 11. Partes que componen un sistema de seguimiento facial sobre video [9].

2.4 Discusión

Vistos los métodos que se emplean para la localización de caras en imágenes. Los basados en el conocimiento, presentan dificultades en la traducción del conocimiento humano en reglas bien definidas, para conseguirlo se requiere gran capacidad de procesamiento y debido a que el sistema a desarrollar debe ser eficiente descartamos este método.

La detección de las características faciales, para mejorar su rendimiento, primero requiere de la localización de la elipse facial. Por lo que este método será complementario de otro que sea el que haga la localización de las posibles caras. Por si solo es costoso computacionalmente, sobre todo si se tienen en cuenta los cambios de

orientación de las características buscadas, obligando a imponer restricciones para mejorar su eficiencia. Descartamos este método.

El uso de la textura en imágenes, puede detectar caras que no están en posición vertical o tienen características tales como barba y gafas, con independencia del tamaño de las caras. Puede ser un buen método para pre-procesar una imagen en la que buscamos caras, el problema está en establecer los umbrales entre los que se encontraran las posibles caras (color de la piel de todas las razas), permitiendo así que tenga un buen rendimiento.

El uso del color de la piel humana, es un método que se ha demostrado eficaz en sistemas de detección de caras, seguimiento con independencia de la posición y localización de las características faciales. El problema está en elegir un espacio de representación de la imagen adecuado (incluyendo pre-tratamientos) y establecer el método de umbralizado que no tenga un gran coste computacional.

La utilización de múltiples características. Este método es una sucesión de métodos, en el que el primero busca formas elípticas, que se convierten en un candidato a cara, para después verificar estos candidatos utilizando características locales, tales como ojos, cejas, nariz, boca y pelo. El rendimiento depende en primer lugar de la eficacia del primer método y después de la de los utilizados para localizar los posibles ojos, cejas, nariz, boca y pelo.

Métodos de coincidencia de plantillas, han sido probados mostrando que son ineficaces para la tarea de la detección facial, ya que no pueden tratar efectivamente la variación en escala, pose, forma de la cara y características faciales. Por lo que requiere la imposición de restricciones, como que las caras deben aparecer en posición vertical. Por lo que ya no cumple uno de nuestros objetivos.

Métodos basados en la apariencia, utiliza redes neuronales simple o múltiples. Presentan el inconveniente de decidir cómo realizar la etapa, que sistema de parametrización utilizar para reconocer caras y después realizar una buena fase de entrenamiento, para el que necesita gran cantidad de ejemplos positivos y negativos de caras, con el objetivo de obtener buenos resultados.

Métodos basados en video o fotogramas. Presentan el inconveniente de ser lentos, pues para verificar que se trata de una cara, localizan el movimiento de los labios y la cabeza. Que por otro lado permite predecir el movimiento de la cara. No entra dentro de nuestros planes de desarrollo, ya que utilizaremos imágenes estáticas, aunque el método que desarrollamos aquí puede ser utilizado con video.

El método desarrollado aquí se basa en los de aproximaciones a características invariantes, utilizando concretamente el color de la piel humana. Para mejorar la discriminación de la piel humana con respecto a un entorno variado, se realizara un tratamiento de los colores, que hará que se cumplan con el mismo todas las etapas de de una aplicación basada en la visión por computador:

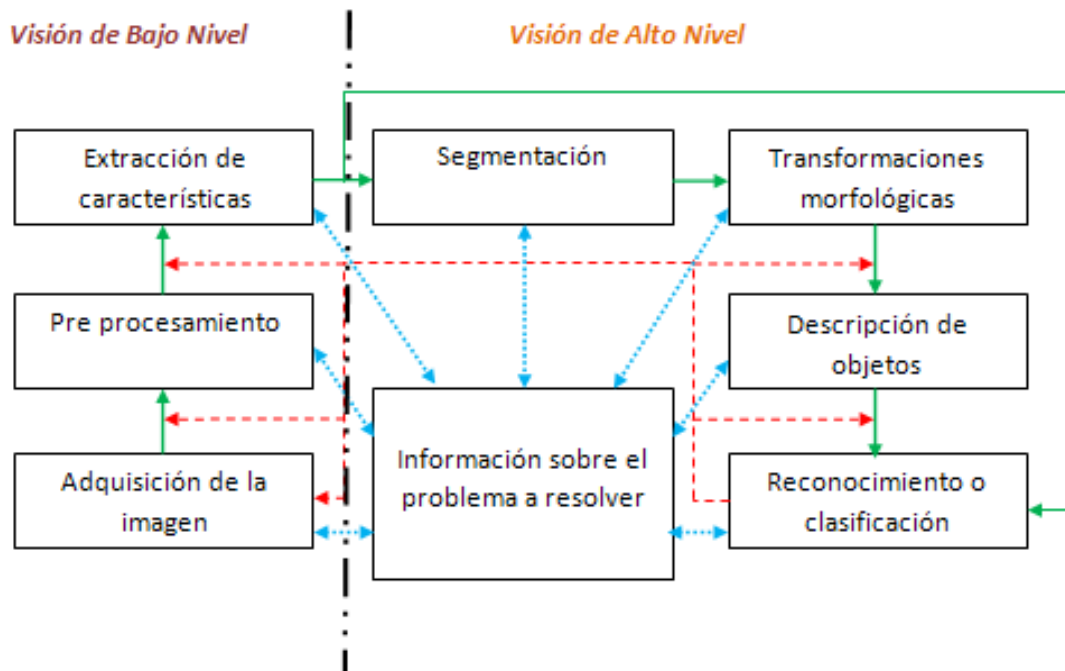


Ilustración 12. Etapas de una aplicación basada en la visión por computador [12].

Las razones de su elección están en que ha demostrado ser eficaz en la detección de caras, con independencia de la raza humana, de la posición y las características faciales. Y puesto que estos métodos se utilizan en sistemas de seguimiento el sistema desarrollado es eficiente además de eficaz.

3 Objetivos del Proyecto

El objetivo del proyecto es conseguir desarrollar un sistema de pre-procesamiento de imágenes estáticas en color, que permita detectar las caras de las personas que contenga, con independencia del color de la piel, dando como resultado un sistema flexible, eficiente y eficaz.

Otros objetivos:

- Que pueda implementarse en hardware la mayor parte del desarrollo.
- La solución deberá ser robusta en la detección de las caras, en el mayor margen posible de cambios de iluminación.
- Se buscará que el sistema pueda ser dinámico, para facilitar un pre-tratamiento de la imagen, que garantice una localización rápida y eficaz de las caras.
- Que se aproxime todo lo posible a la visión humana, en cuanto a saber con certeza, que se trata de la cara de una persona y pueda discriminarlas del resto de figuras encontradas.
- Que tenga una gran aplicación en el desarrollo de sistemas de reconocimiento facial en tiempo real, como en visión artificial para la creación de ojos biónicos.
- Que pueda aplicarse en el desarrollo, de sistemas en prevención laboral, ayudando a verificar las actuaciones de los operarios y si el equipamiento que llevan puesto es el adecuado.
- Aplicación en robótica para dotar a estas maquinas de una mayor seguridad, capacidad de interacción con el entorno y las personas.

- Que sea aplicable por su versatilidad a procesos de visión en los que estén involucradas personas de cualquier raza y requieran de un sistema de pre-tratamiento de imagen eficiente, eficaz, robusto y adaptable.
- Finalmente, que aporte una nueva idea dentro del campo de la visión artificial para desarrollar otras aplicaciones.

4 Especificaciones y diseño

4.1 Requisitos

El sistema desarrollado, es capaz de localizar las caras de personas, presentando como el mayor de los obstáculos superados, la necesidad de poder aplicarlo a imágenes, que pueden contener personas de distinta raza. Otras dificultades superadas son la facilidad para localizar las caras con independencia de la distancia a la cámara, la diferencia de iluminación y un entorno variado.

4.2 Especificaciones

El desarrollo se realiza sobre imágenes estáticas en color, representadas en formato RGB. Puesto que esto implica tener información repetida, se procede a dar una solución que la minimice. Pasando a reducir la información, comenzando en la primera fase, con la reducción del tamaño de la imagen en color. En el tercer paso al aplicar la condición $R > G > B$, obteniendo una imagen binaria, con menos información que la imagen del paso anterior y en el formato más reducido posible (matriz booleana). En el cuarto se obtienen parámetros de los campos de unos, de la imagen booleana entregada por el paso anterior. Que utilizaremos para tomar decisiones.

4.3 Arquitectura de la aplicación

La evolución del sistema. Comienza por la adquisición de la imagen en formato RGB (los tres colores básicos con los que se obtienen los demás en una imagen en color), ajusta el tamaño a valores que no superen en alguna de las dos dimensiones de la imagen los 500 píxeles. El resultado se entrega al segundo paso donde se realizan operaciones con los colores, dando como resultado una nueva imagen, donde las partes del cuerpo en las que se vea piel, de personas de cualquier raza, queden en situación para el siguiente paso. El tercer paso realiza el umbralizado de la imagen,

aplicando la condición $R > G > B$, resultando una imagen binaria (matriz booleana) en la que las partes formadas por unos, serán posibles zonas de piel. El cuarto paso toma parámetros de los campos de unos, como área, ejes mayor y menor, coordenadas de los vértices del polígono circunscrito y otros parámetros. Que se utilizarán para que el siguiente paso, pueda hacer una estimación, de que campos de unos analizados pueden tener una forma elíptica y poder ser considerados como la ubicación de una posible cara, procediendo a dibujar el correspondiente polígono circunscrito, a la posible cara y el rectángulo que contiene este polígono, dentro del que se encontrara la posible cara en la imagen original.

El esquema, muestra la arquitectura de la aplicación y las operaciones que realiza:

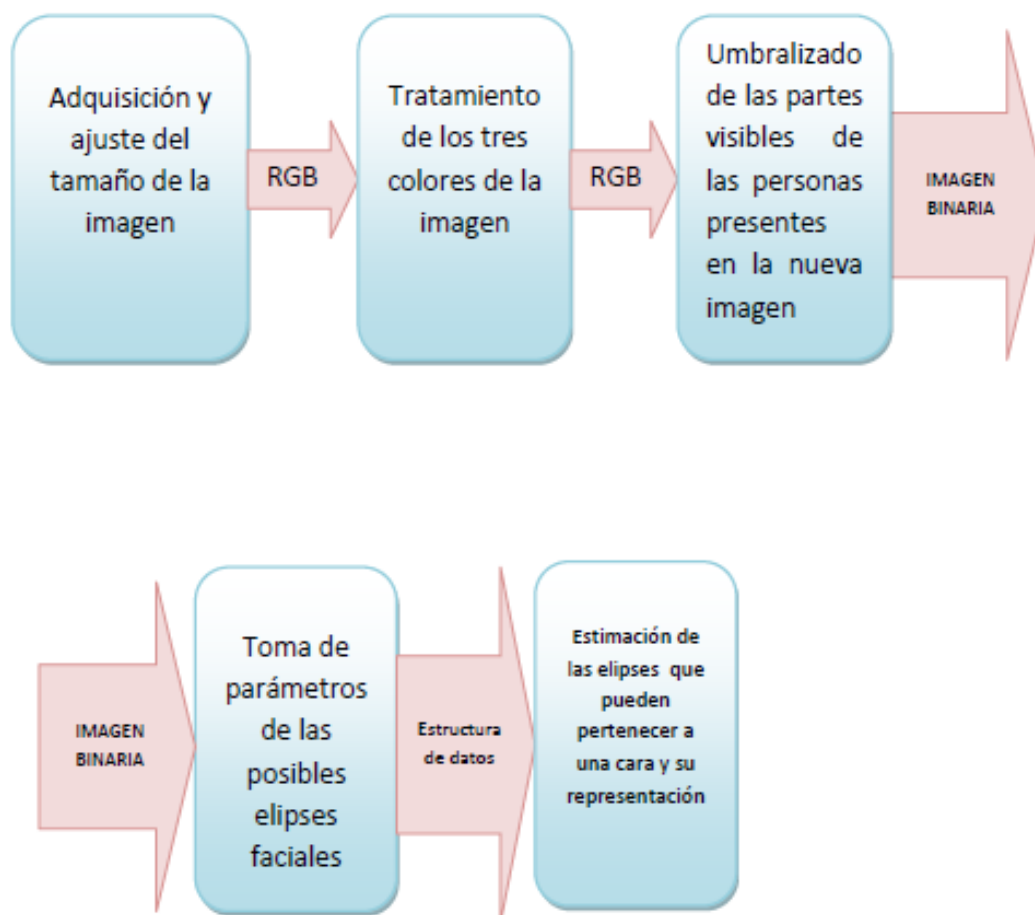


Ilustración 13. Arquitectura de la aplicación y las operaciones que realiza..

5 Análisis de la solución

5.1 Introducción al desarrollo

Es importante observar, en los gráficos de nivel de los tres colores básicos (R G B), que las zonas correspondientes a partes del cuerpo con piel a la vista, como por ejemplo una porción de la cara de una persona de cualquier raza. Cumplen la relación $R > G > B$.

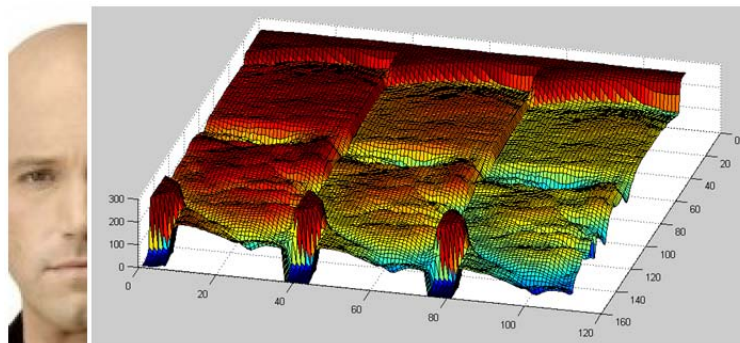


Ilustración 14. Persona de raza blanca, observar la relación entre los niveles de color es $R < G < B$ [24].

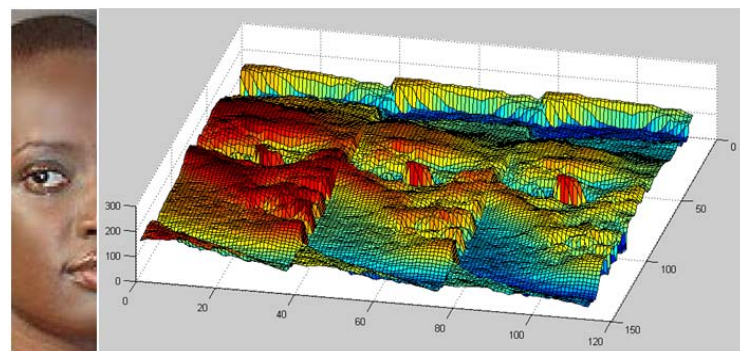


Ilustración 15. Persona de raza negra, observar la relación entre los niveles de color es $R < G < B$ [22].

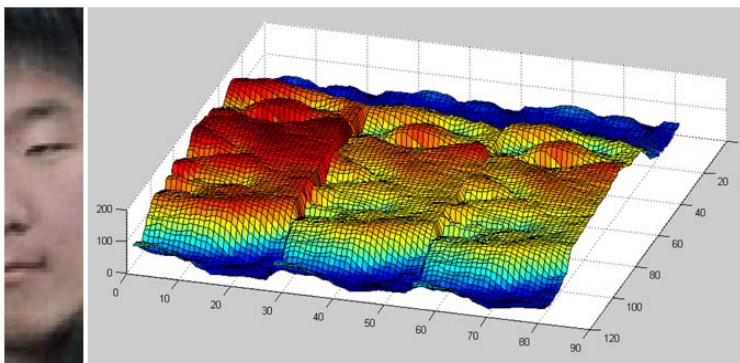


Ilustración 16. Persona de raza amarilla, observar la relación entre los niveles de color es $R < G < B$ [16].

Además las personas que proceden de la mezcla de razas, cumplen la relación $R>G>B$. Situación facilitada por la gran correlación entre los tres colores, que se da en el sistema de representación de imágenes RGB. Garantizando el cumplimiento de la condición casi con independencia del nivel de iluminación de la piel.

Pero utilizar la condición directamente con la imagen original presenta problemas, pues hay muchos colores y tonalidades que la cumplen (colores anaranjados, marrones y rosáceos).

El resultado de aplicar directamente la condición

Para una persona de raza blanca:



Ilustración 17. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización a una imagen con la cara de una persona de raza blanca [29].

Los resultados son positivos, se localiza partes de la piel en la cara y mano, pero no son los idóneos.

Para una persona de raza negra:



Ilustración 18. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización a una imagen con la cara de una persona de raza negra [22].

Los resultados siguen siendo positivos, se localiza partes de la piel en la cara pero no se diferencian bien del entorno.

Para una persona de raza amarilla:



Ilustración 19. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización a una imagen con la cara de una persona de raza amarilla [16].

El resultado es positivo, se localiza la piel a la vista, haciendo una buena discriminación de la piel respecto al entorno y de las formas elípticas al no considerar como posibles caras el resto de las formas. Pero no se localiza la cara con precisión, pues en la localización dada entran otras partes lindantes a la cara.

Al no servir la aplicación directa de la condición sobre la imagen para localizar la piel, dificultando la localización de la cara. Hay que buscar otras mejoras aplicando tratamientos a la imagen.

5.2 Primer tratamiento

Vistos estos resultados, probaremos una transformación sencilla del espacio de color de la imagen RGB que no afecte a la relación $R > G > B$ que se da entre los colores de la piel de las personas. Si hacemos un esfuerzo podemos ver que si pasamos a hacer que el color rojo sea el negativo del color azul, el color azul el negativo del color rojo y el verde lo hacemos igual al negativo del él mismo conseguimos que se siga cumpliendo la condición.

Para una persona de raza blanca:



Ilustración 20. Aplicando la condición $R > G > B$ y localización a la imagen transformada con la cara de una persona de raza blanca [29] .

Para una persona de raza negra:

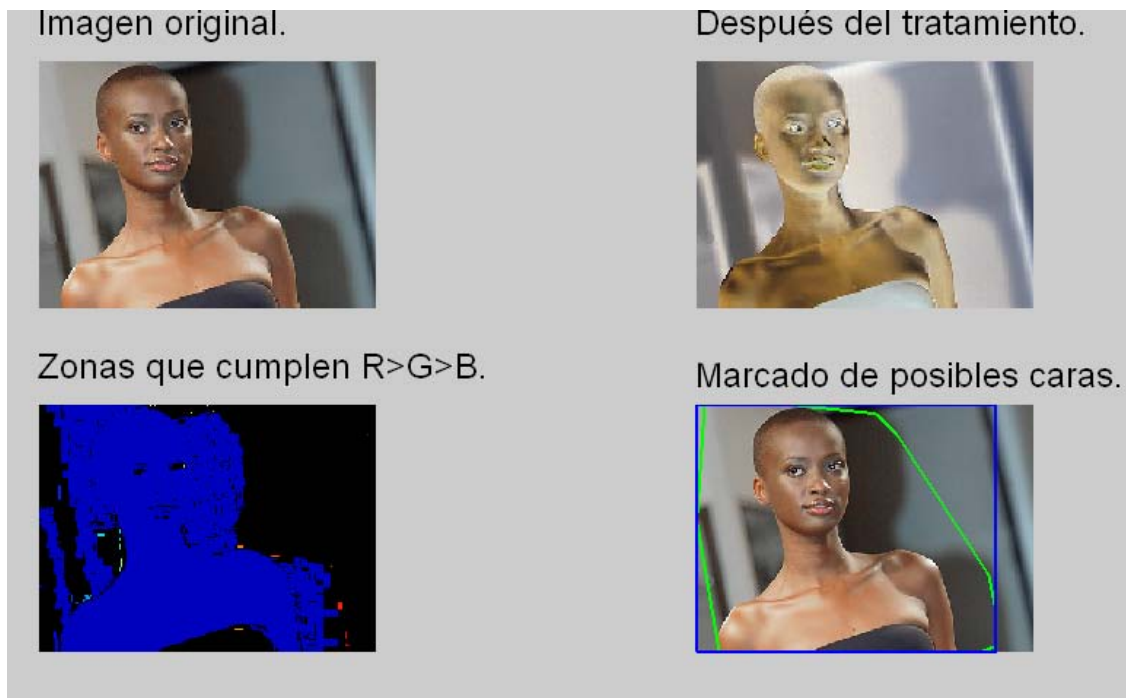


Ilustración 21. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización a la imagen transformada con la cara de una persona de raza negra [22].

Para una persona de raza amarilla:



Ilustración 22. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización a la imagen transformada con la cara de una persona de raza amarilla [16].

Podemos comprobar que los resultados son los mismos que en la aplicación de la condición directamente a la imagen sin transformar. Luego es una prueba de que la transformación cumple lo esperado, la condición $R > G > B$.

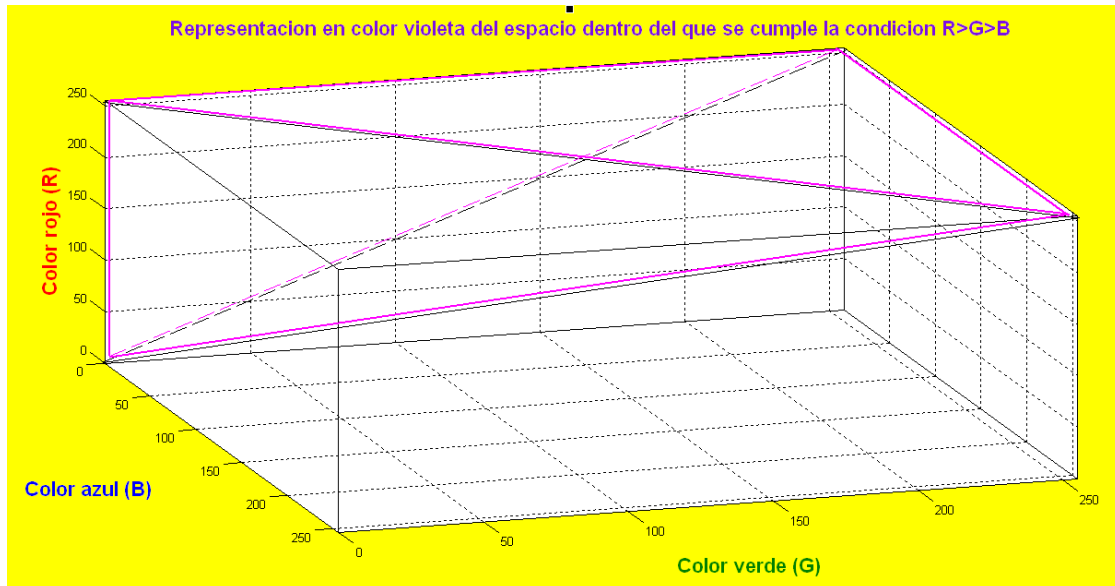


Ilustración 23. Espacio de representación de imágenes RGB, dentro del que se cumple la condición $R > G > B$.

Con estos resultados podemos observar, que el nuevo color rojo presenta valores muy diferenciados respecto al entorno, para los pixeles que se encuentran en zonas donde se localiza piel, aunque esta esté poco iluminada. Veámoslo en las graficas.

Para el color rojo:

Para una persona de raza blanca:

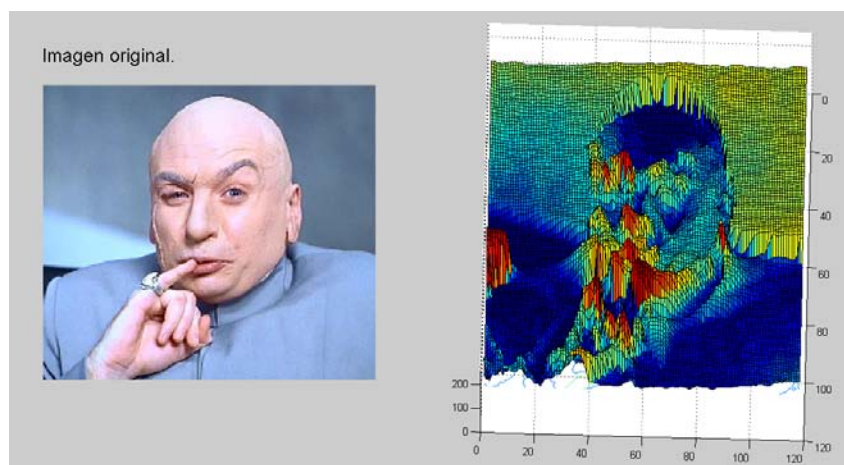


Ilustración 24. Grafica de valores del color rojo con marcado de aéreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza blanca [29].

Para una persona de raza negra:

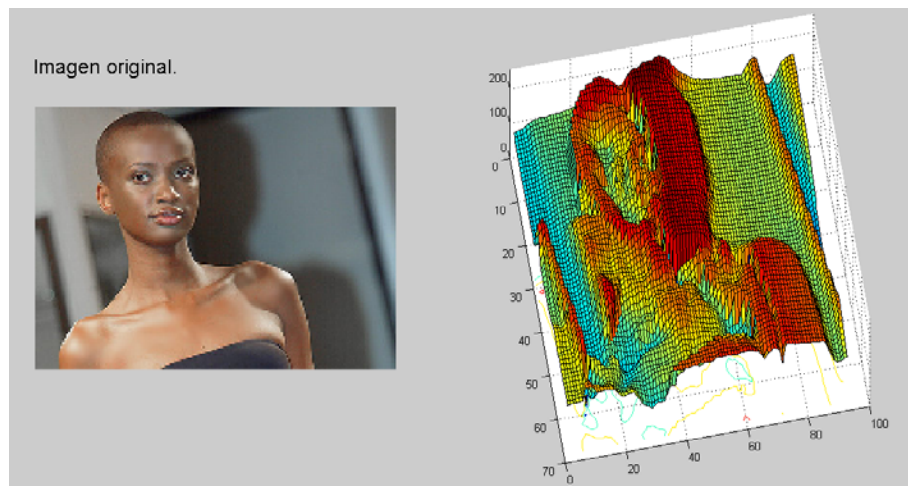


Ilustración 25. Grafica de valores del color rojo con marcado de aéreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza negra [22].

Para una persona de raza amarilla:

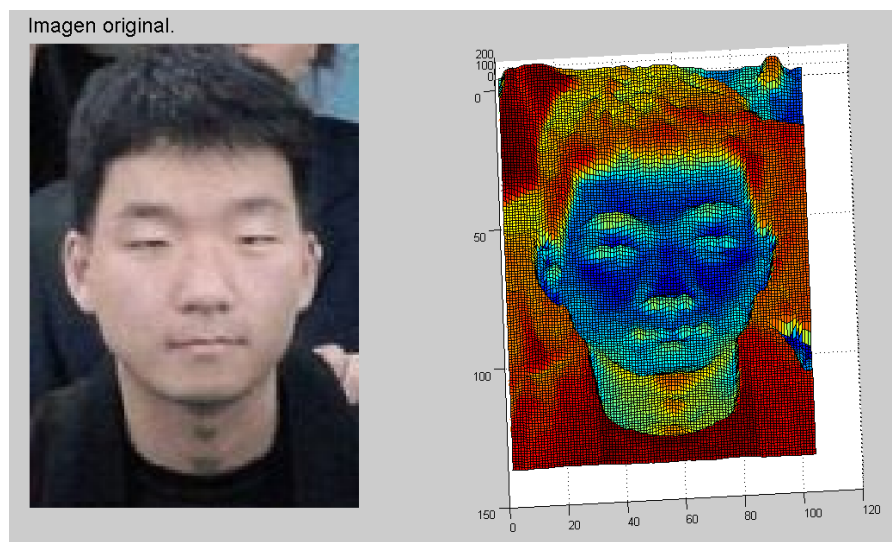


Ilustración 26. Grafica de valores del color rojo con marcado de aéreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza amarilla [16].

Como se puede observar en las ilustraciones de nivel del color rojo, los bordes de las caras están muy marcados, así como las zonas oscuras de la piel, esta circunstancia se debe a que en la piel de cualquier raza el color azul es el menos significativo, por lo que al utilizar el negativo del color azul para crear el nuevo color rojo, presenta una gran variación entre el nivel de las zonas de piel y el entorno. Por este motivo mantendremos este color de momento sin modificar.

Con el color verde:

Para una persona de raza blanca:

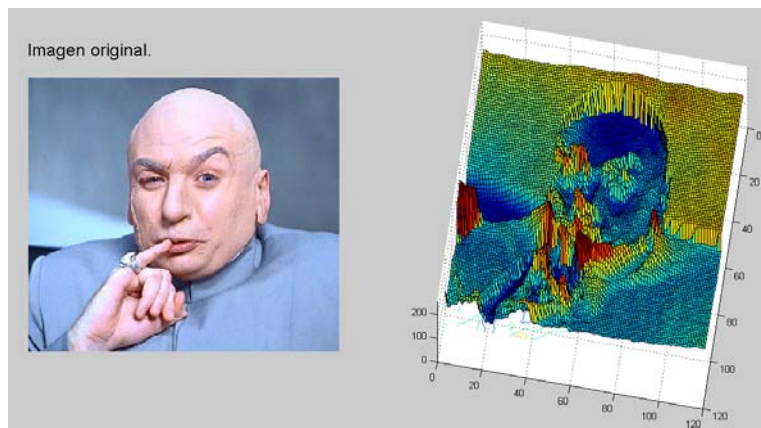


Ilustración 27. Grafica de valores del color verde con marcado de áreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza blanca [29].

Para una persona de raza negra:

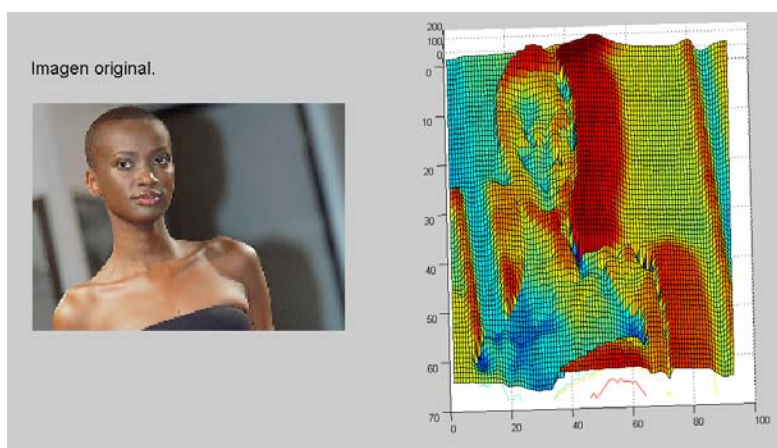


Ilustración 28. Grafica de valores del color verde con marcado de áreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza negra [22].

Para una persona de raza amarilla:

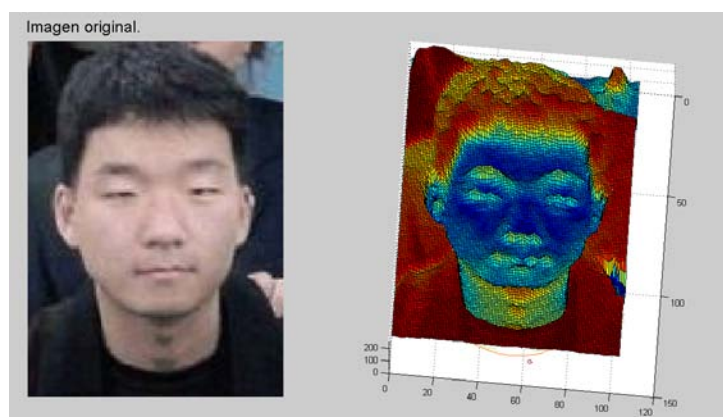


Ilustración 29. Grafica de valores del color verde con marcado de áreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza amarilla [16].

El nuevo color verde, presenta menos diferencias entre el entorno y las zonas de la piel, su valor medio está muy cerca de la media del verde positivo. Para dar mayor contraste con los otros dos colores y garantizar que estarán los pixeles de las zonas con piel por encima del valor que tendrá el color azul, dejaremos el color verde sin modificar (en positivo).

Con el color azul:

Para una persona de raza blanca:

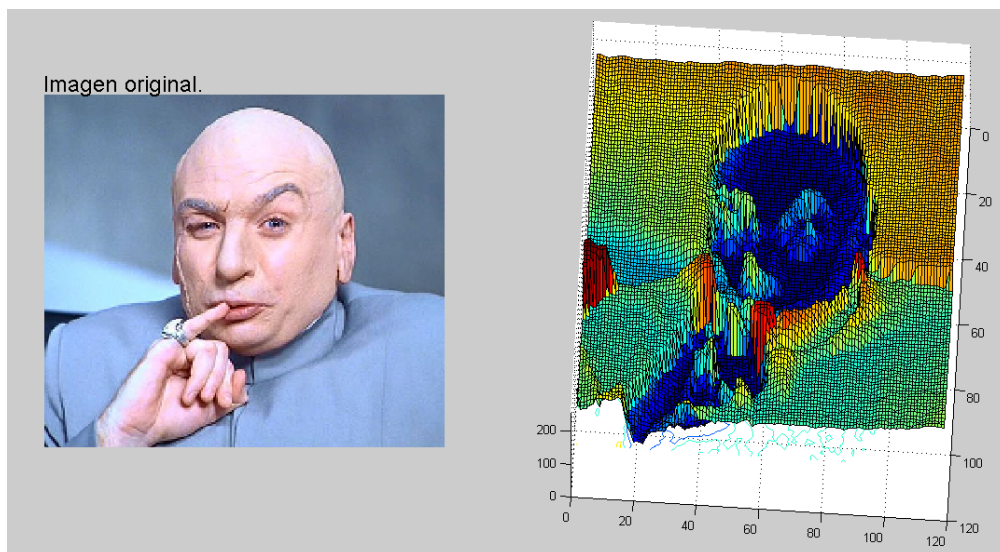


Ilustración 30. Gráfica de valores del color azul con marcado de áreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza blanca [29].

Para una persona de raza amarilla:

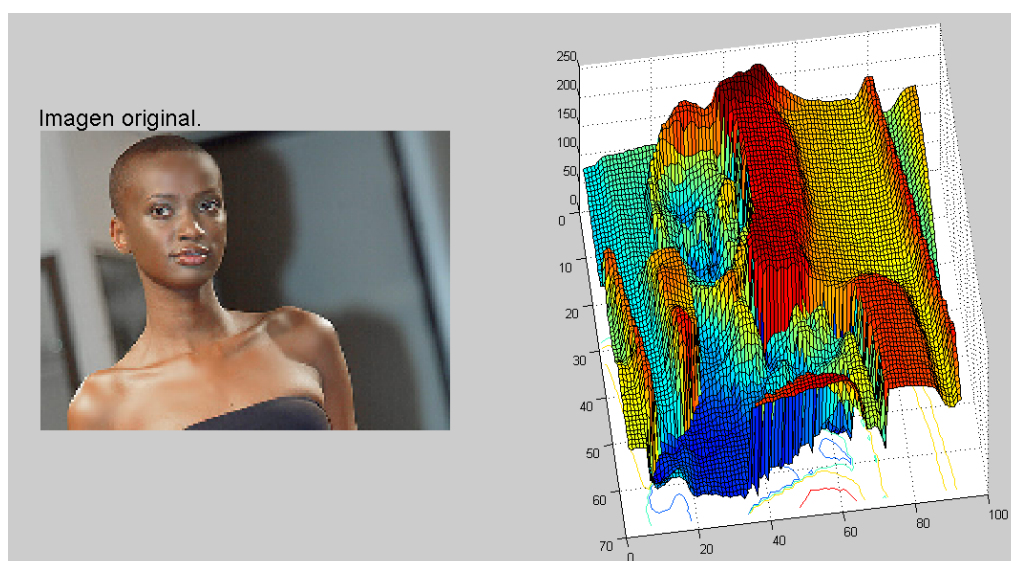


Ilustración 31. Gráfica de valores del color azul con marcado de áreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza negra [22].

Para una persona de raza amarilla:

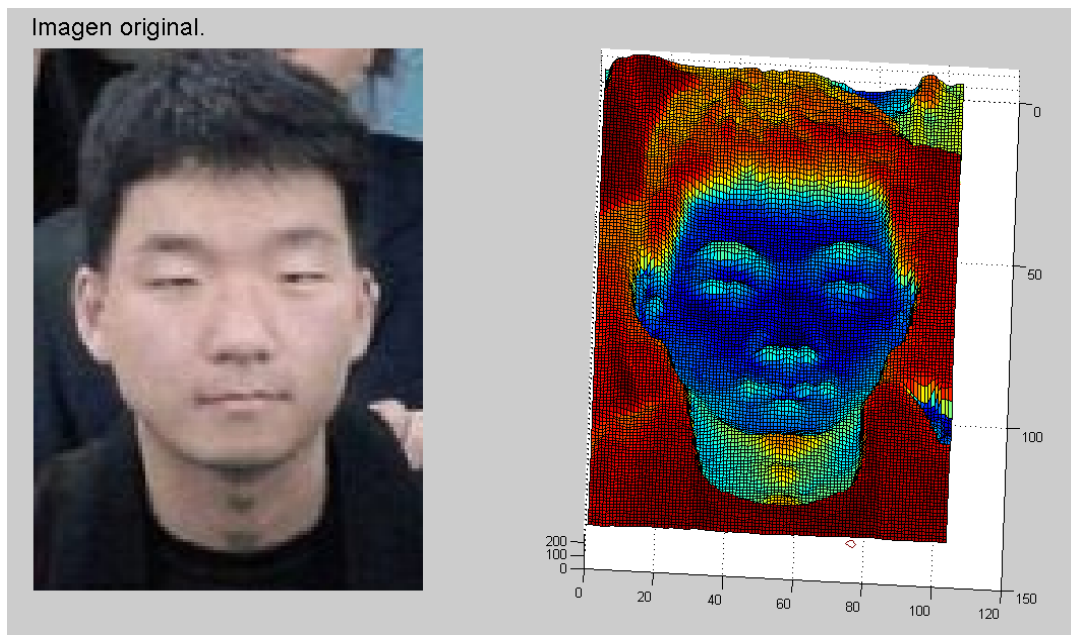


Ilustración 32. Gráfica de valores del color azul con marcado de áreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza amarilla [16].

Observando la representación de nivel de color azul, los bordes de las zonas de la piel aparecen muy marcados. Esta circunstancia permitirá localizar las zonas de piel con gran precisión. Así el nuevo color azul se compondrá con el negativo del color rojo.

Veamos los resultados de utilizar las transformaciones propuestas para los colores de una imagen (rojo lo obtenemos del negativo del azul, el verde no cambia quedando en positivo y el azul lo obtenemos del negativo del rojo). Veamos los resultados para las imágenes con caras de las tres razas (blanca, negra y amarilla).

Para una persona de raza blanca:

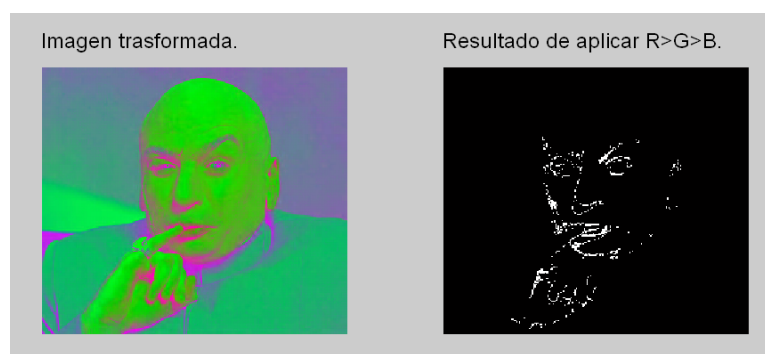


Ilustración 33. Resultado de aplicar la condición $R > G > B$ a la imagen trasformada, que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].

Para una persona de raza negra:

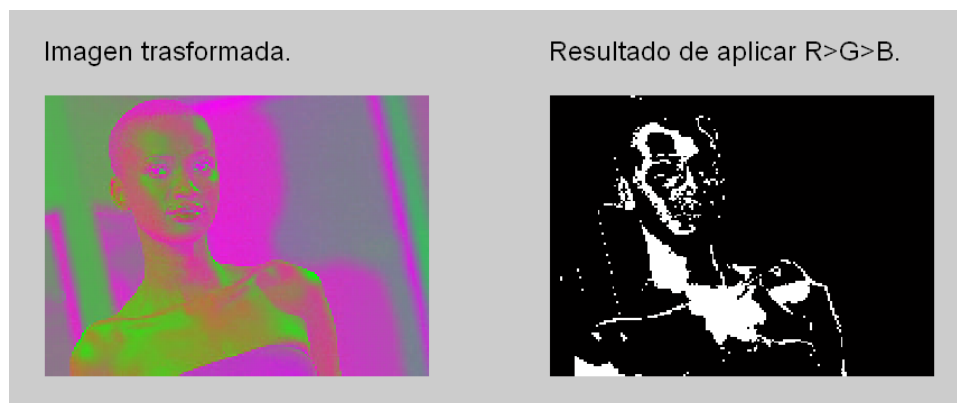


Ilustración 34. Resultado de aplicar la condición $R > G > B$ a la imagen transformada, que contiene la cara de una persona de raza negra [22].

Para una persona de raza amarilla:



Ilustración 35. Resultado de aplicar la condición $R > G > B$ a la imagen transformada, que contiene la cara de una persona de raza amarilla [16].

Como esperábamos los bordes empiezan a aparecer, incluidos los de las características faciales (ojos, labios, cejas, nariz, etc), pero no están muy definidos. Para conseguir más definición hemos de buscar soluciones.

Concluimos hasta aquí que para poner la imagen en una situación, más favorable y mejorar la respuesta de la solución que se presenta, contando con una iluminación adecuada (fácil de conseguir con las cámaras actuales al integrar, control automático de la intensidad de la imagen captada) y considerando que la piel de casi todas las razas, cumple la condición $R > G > B$, al tener una representación de sus tres colores en

promedios, muy próximas. Para mejorar la detección de la piel, se pasa a hacer que el color rojo de la nueva imagen, sea el azul en negativo, al ser el color de menor valor presente en las pieles de todas las razas, garantiza que el rojo en la nueva imagen sea el de mayor valor en esas zonas. Así se pasa a hacer que el color azul de la nueva imagen sea el rojo en negativo, que es el de mayor nivel de los tres colores que presentan la piel en todas las razas, garantizando en las zonas donde se ve piel, que el color azul sea el de menor valor o nivel. Con estos dos cambios los colores más oscuros pasan a ser más claros y los que están más claros en la imagen original, pasan a ser más oscuros en la nueva imagen. El verde será el mismo en la nueva imagen que en la original..

5.3 Segundo tratamiento

Veamos cómo evoluciona la imagen booleana al modificar los niveles de los colores.

Variamos el nivel del color rojo:

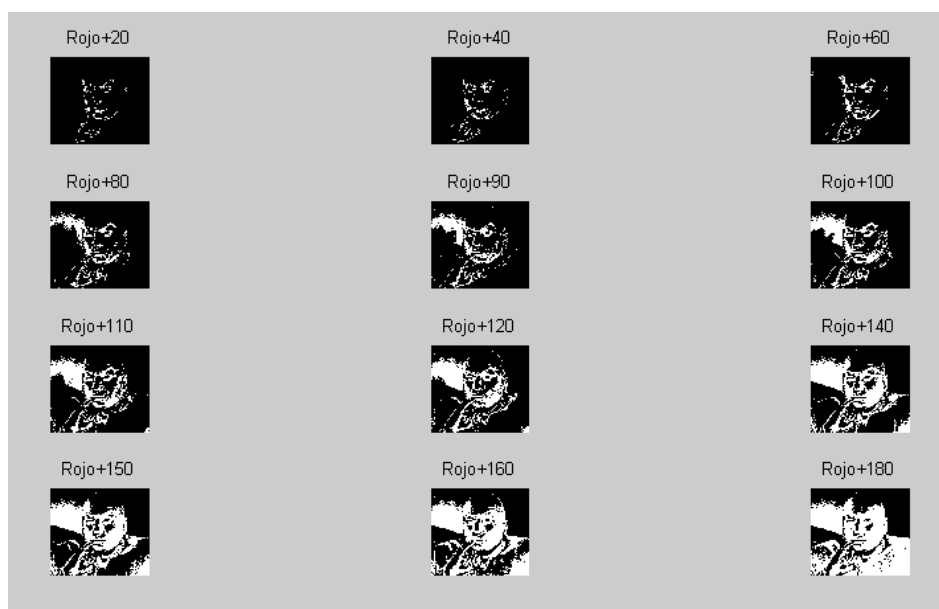


Ilustración 36. Evolución de la imagen booleana ($R > G > B$) al modificar el nivel del color rojo en la imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].

Variamos el nivel del color verde:

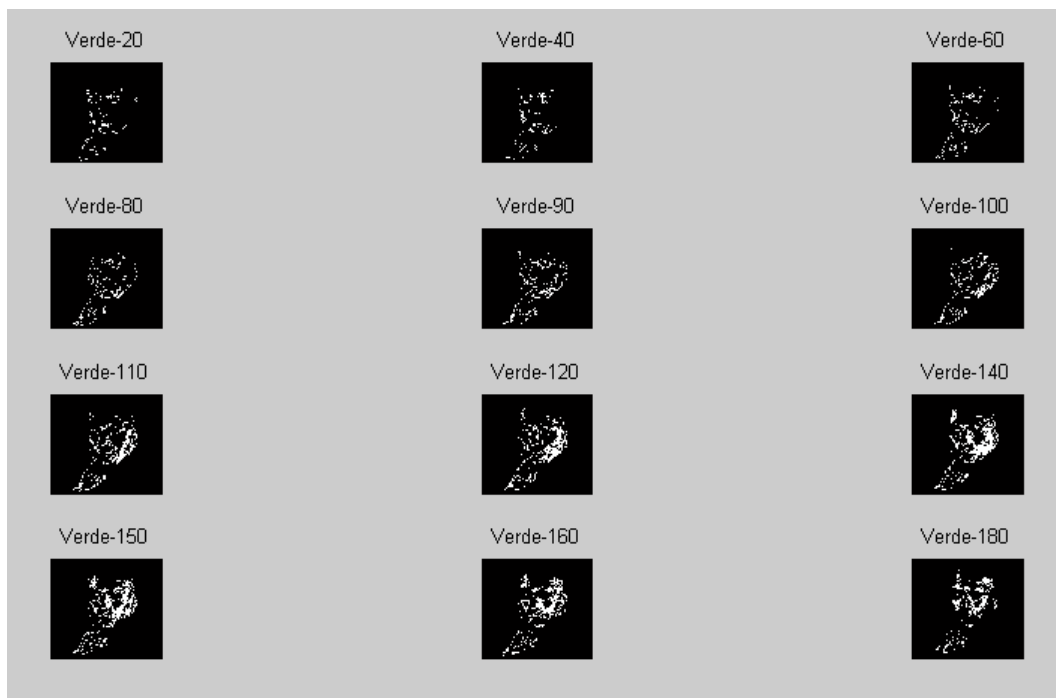


Ilustración 37.Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color verde en la imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].

Variamos el nivel del color azul:

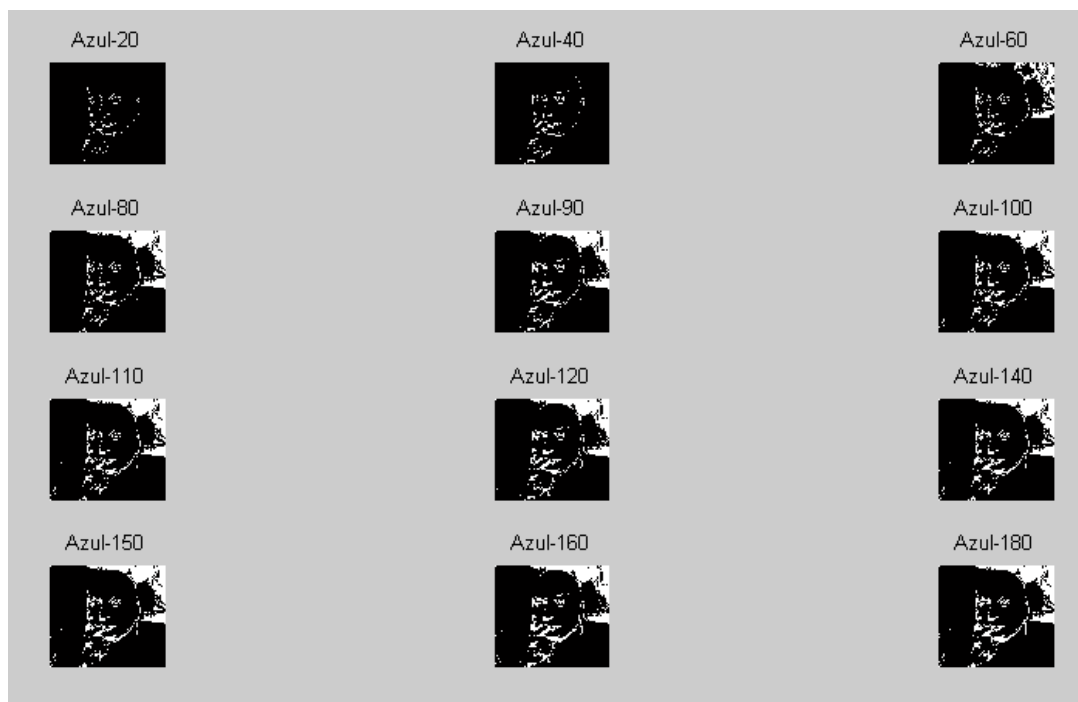


Ilustración 38.Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color azul en una imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].

Persona de raza negra:

Variamos el nivel del color rojo:

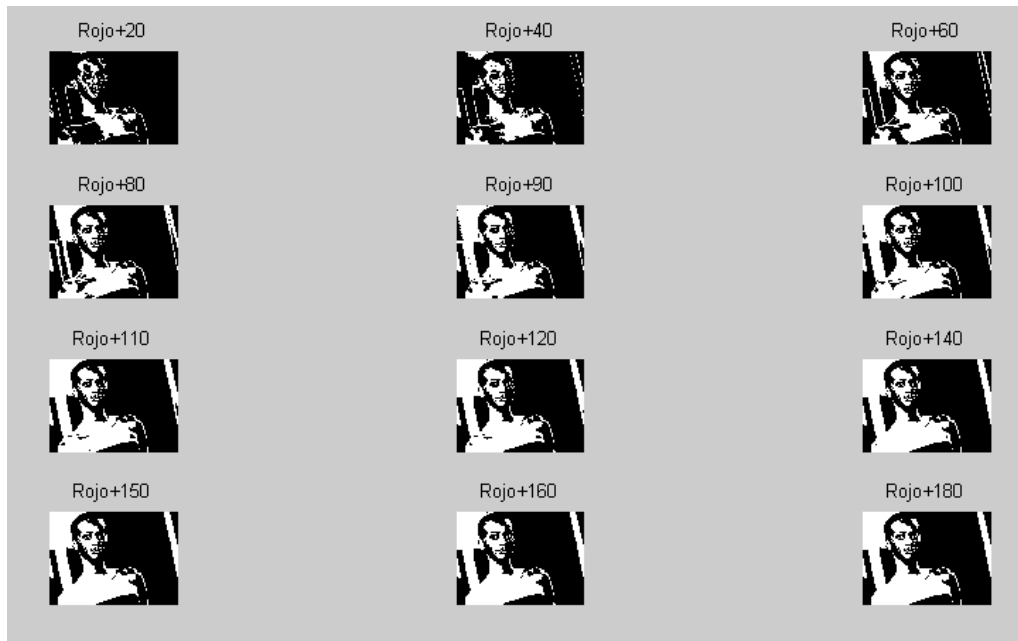


Ilustración 39.Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color rojo en una imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza negra [22].

Variamos el nivel del color verde:

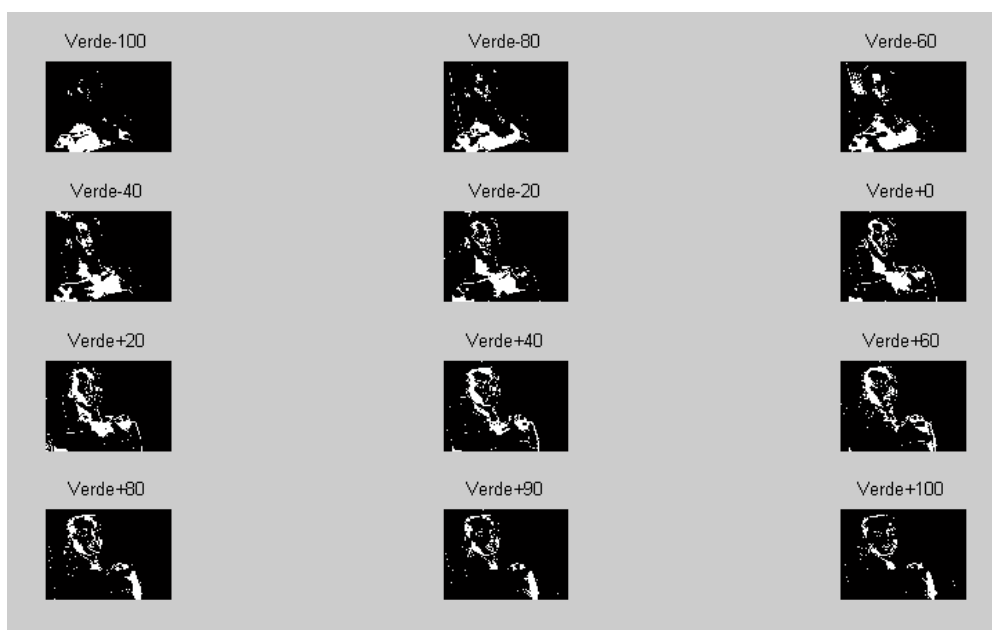


Ilustración 40.Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color verde en una imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza negra [22].

Variamos el nivel del color azul:

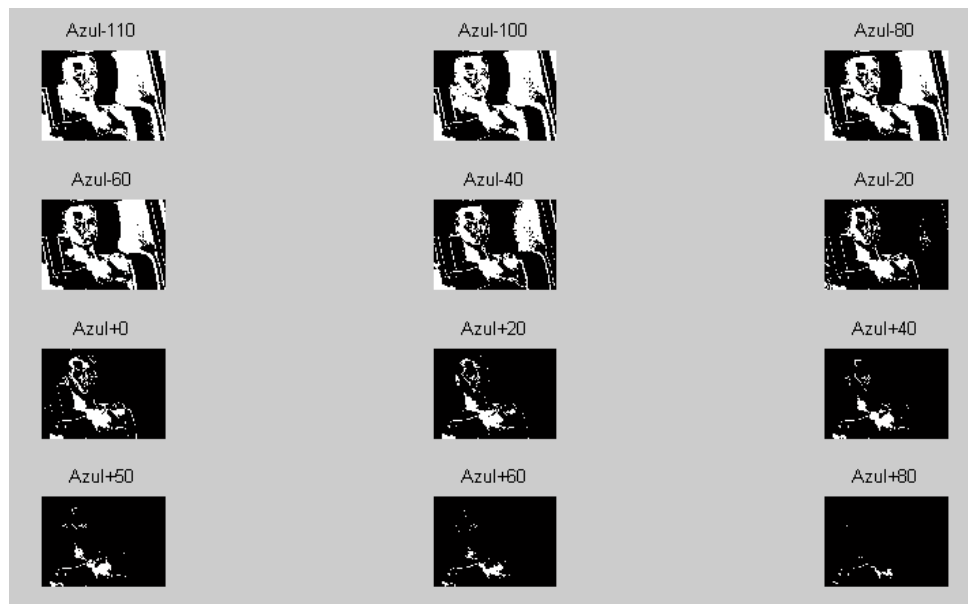


Ilustración 41. Evolución de la imagen booleana ($R > G > B$) al modificar el nivel del color azul en una imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza negra [22].

Persona de raza amarilla.

Variamos el nivel del color rojo:

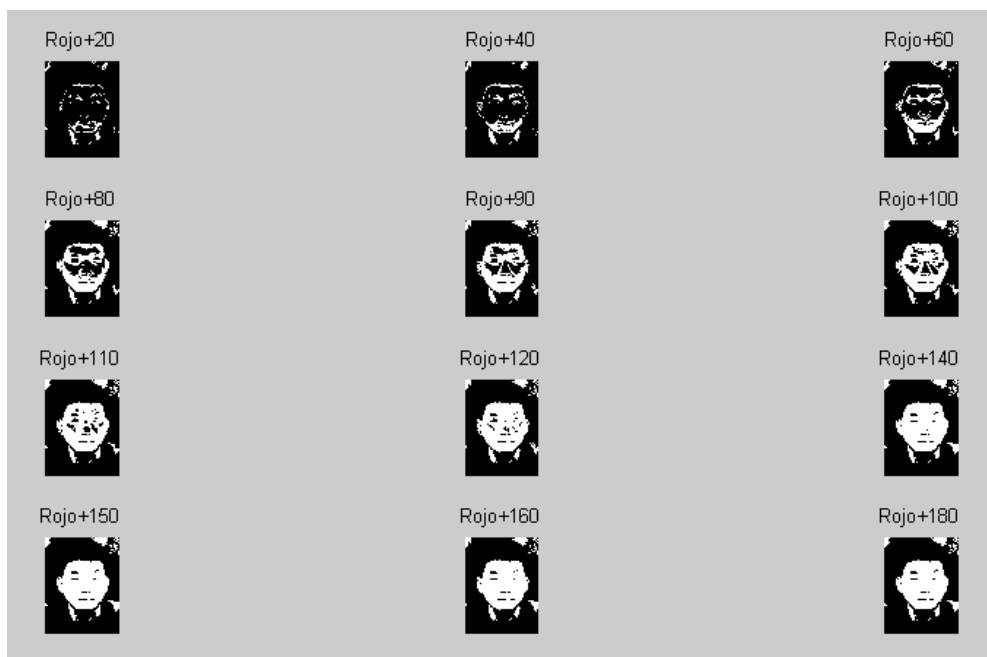


Ilustración 42. Evolución de la imagen booleana ($R > G > B$) al modificar el nivel del color rojo en una imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza amarilla [16].

Variamos el nivel del color verde:

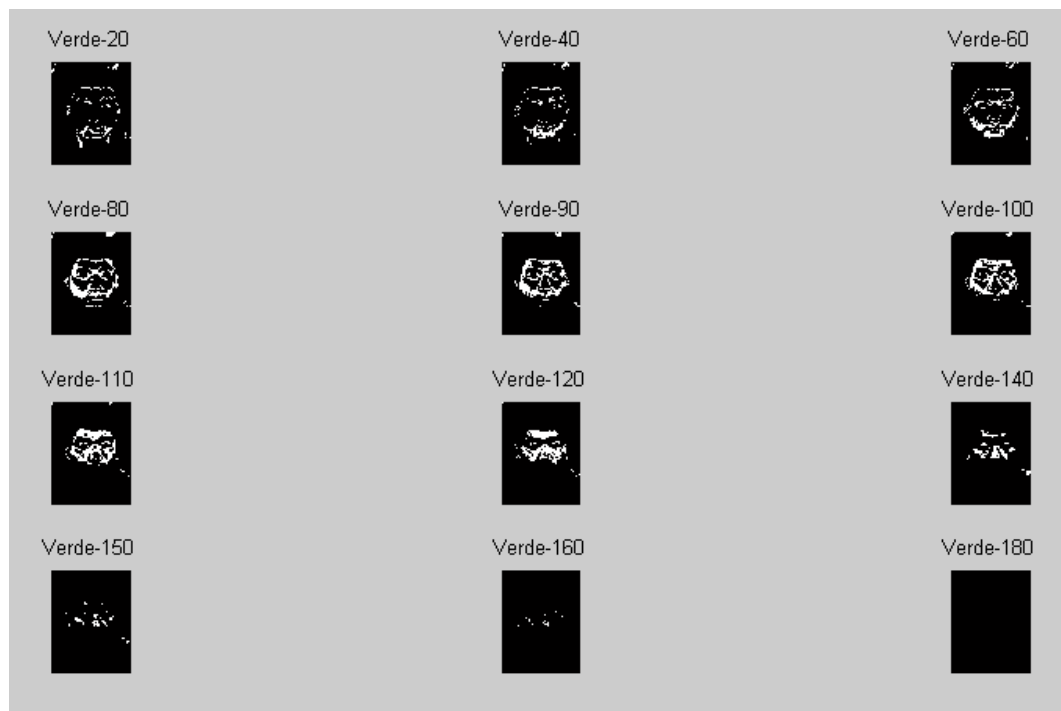


Ilustración 43. Evolución de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color verde en una imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza amarilla [16].

Variamos el nivel del color azul:

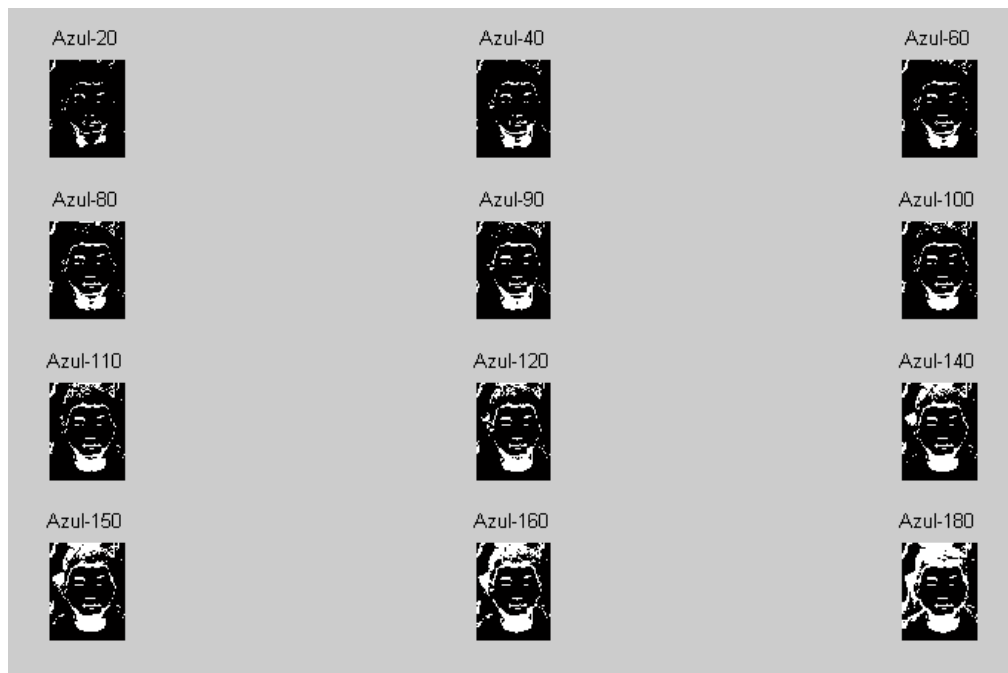


Ilustración 44. Evolución de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color azul en una imagen tratada que contiene la cara de una persona de raza amarilla [16].

A la vista de los resultados los colores que al ser variados favorecen la localización de la piel son el rojo y el azul. Pero los resultados no son los deseados. La causa está en que no se ha realizado un buen ajuste de intensidad en los colores de la imagen. Para hacer este ajuste utilizaremos los colores rojo y azul que representan la intensidad de la iluminación en las imágenes.

Así pasaremos a tratar los colores verde y azul, sumándoles la diferencia entre el negativo del color azul y el color rojo de la imagen original, resultando un suavizado de todas las zonas y a la vez un acentuado de los niveles más extremos, en las zonas donde se localiza piel o colores que cumplen la condición $R > G > B$, mejorando la localización de labios, cejas, ojos y marcas faciales.

Sobre el color verde conseguimos un rellenado de los valores bajos y el suavizado de los valores más altos.

Para una persona de raza blanca:

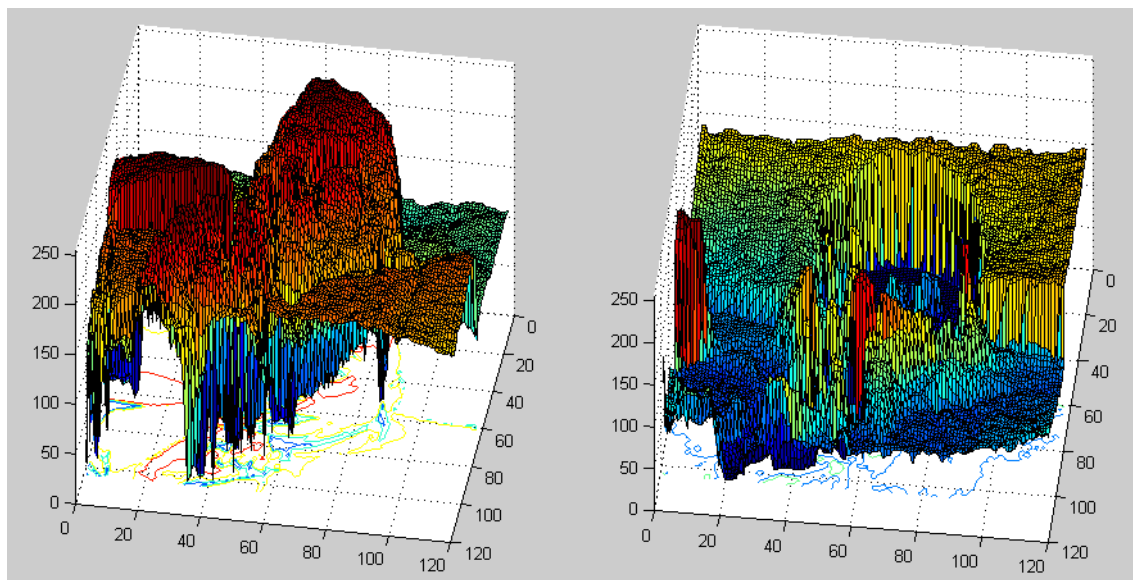


Ilustración 45. Grafica de valores del color verde y del mismo después de recibir el tratamiento con marcado de aéreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza blanca [29].

Para una persona de raza negra:

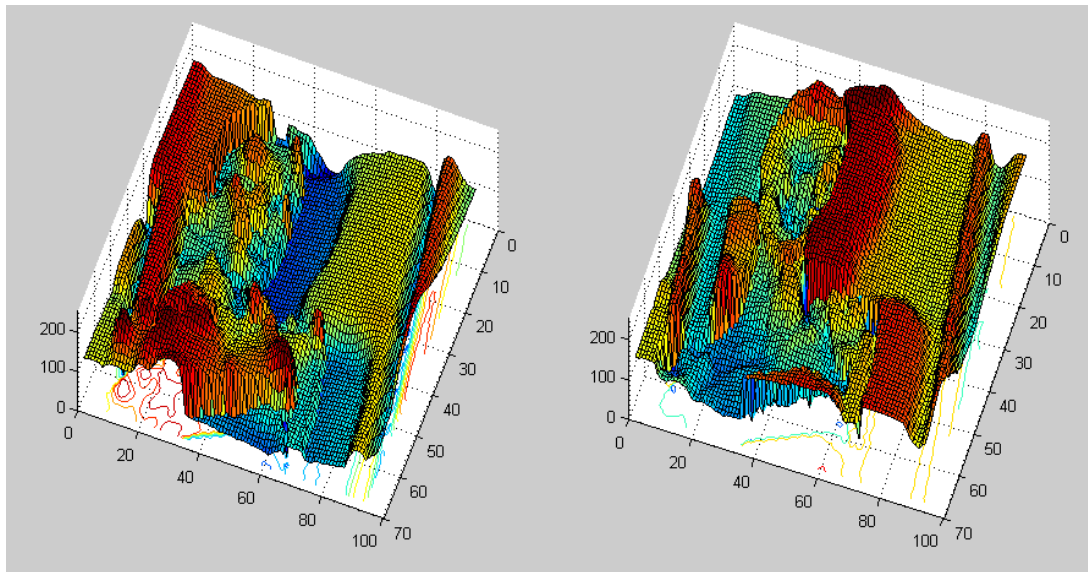


Ilustración 46. Grafica de valores del color verde y del mismo después de recibir el tratamiento con marcado de áreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza negra [22].

Para una persona de raza amarilla:

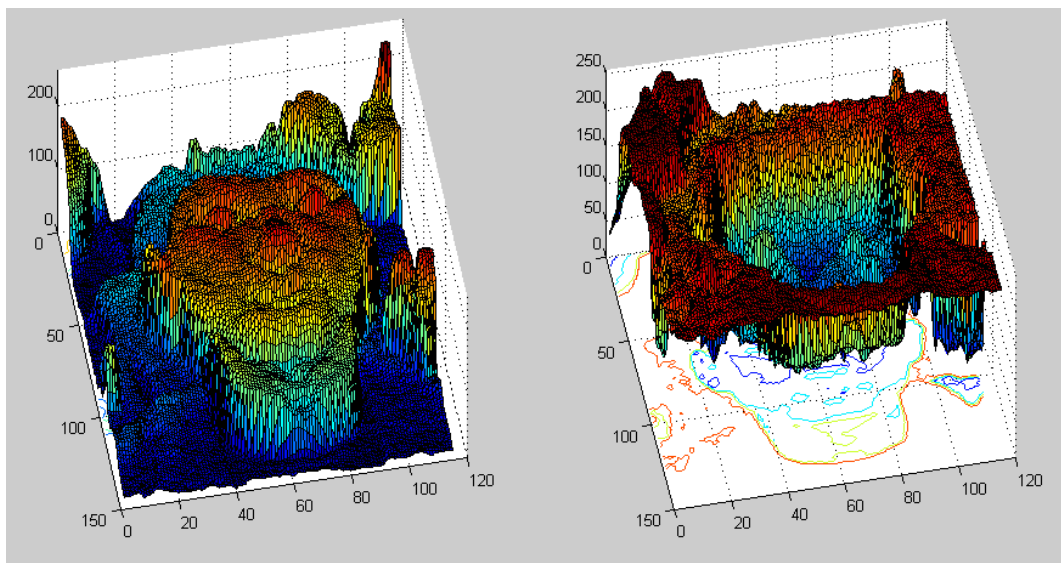


Ilustración 47. Grafica de valores del color verde y del mismo después de recibir el tratamiento con marcado de áreas de igual cota, en una imagen con la cara de una persona de raza amarilla [16].

Los resultados en las zonas con piel presentan niveles bajos consiguiendo una gran diferencia con sus bordes.

En el azul esperamos que también se suavice y se remarquen los bordes.

Para una persona de raza blanca:

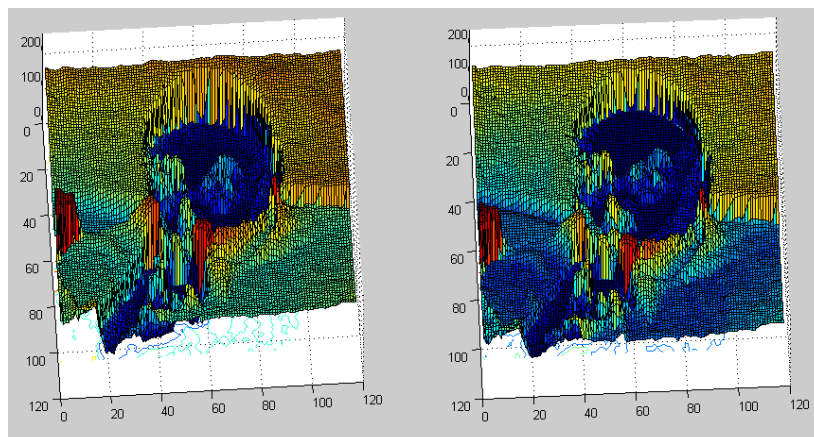


Ilustración 48. Graficas de valores del color azul y del mismo después de recibir el tratamiento con marcado de áreas de igual cota en una imagen con la cara de una persona de raza blanca [29].

Para una persona de raza negra:

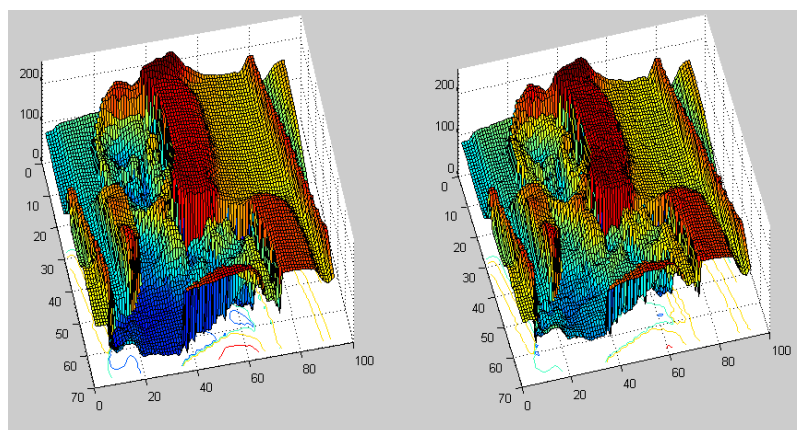


Ilustración 49. Graficas de valores del color azul y del mismo después de recibir el tratamiento con marcado de áreas de igual cota en una imagen con la cara de una persona de raza negra [22].

Para una persona de raza amarilla:

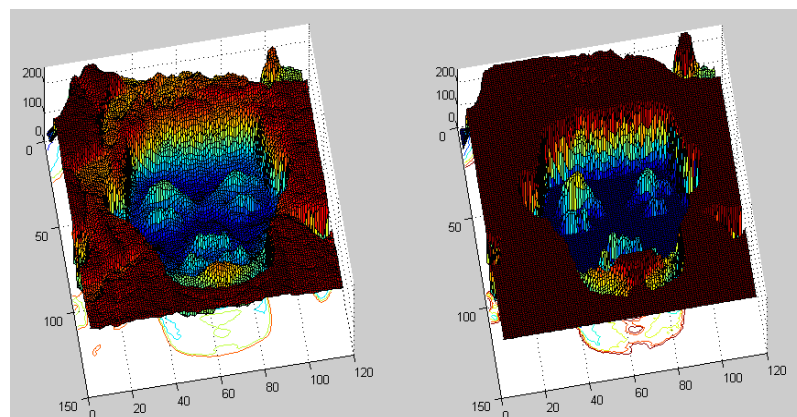


Ilustración 50. Graficas de valores del color azul y del mismo después de recibir el tratamiento con marcado de áreas de igual cota en una imagen con la cara de una persona de raza amarilla [16].

Todo lo conseguido ha llevado a obtener una representación de los colores verde y azul con valores próximos. Esta situación permite mejorar la localización de las zonas de piel con mayor facilidad variando solo el nivel del color rojo.

5.4 Posicionamiento de niveles de los tres colores.

Veamos que sucede al variar los niveles con los colores obtenidos después de tratamientos.

Para una persona de raza blanca:

Variamos el nivel del color rojo:

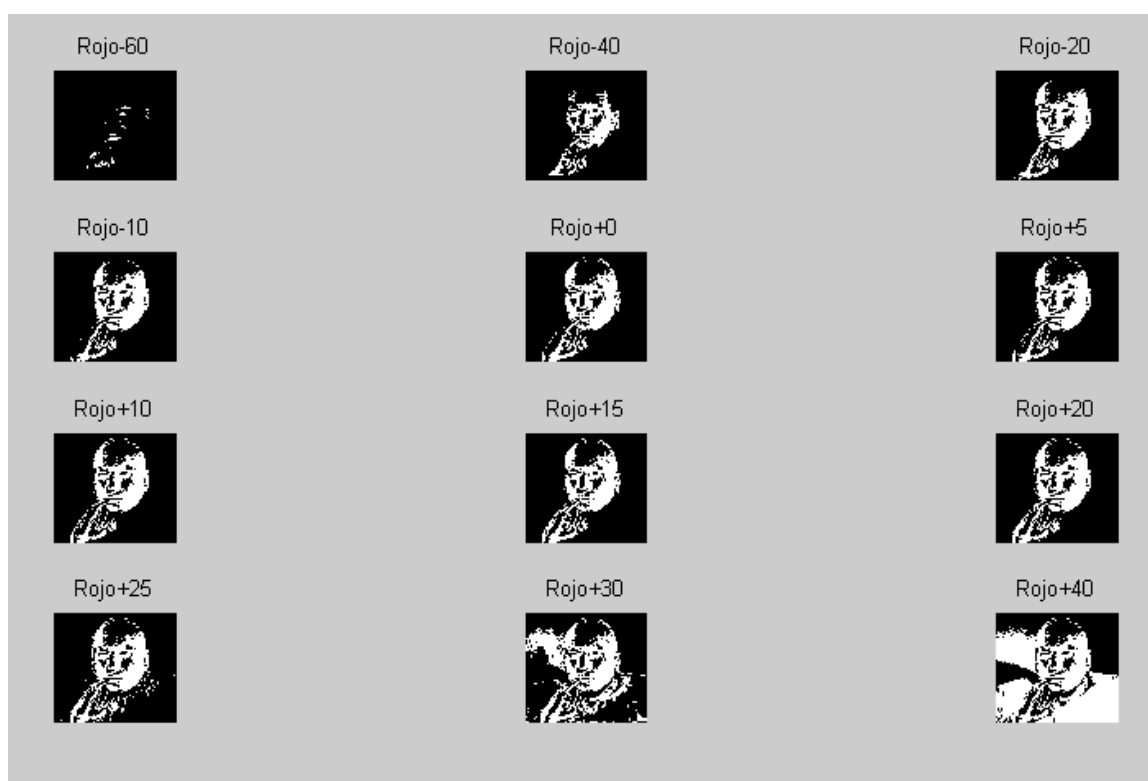


Ilustración 51. Evolución de la imagen booleana ($R > G > B$) al modificar el nivel del color rojo en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].

Variamos el nivel del color verde:

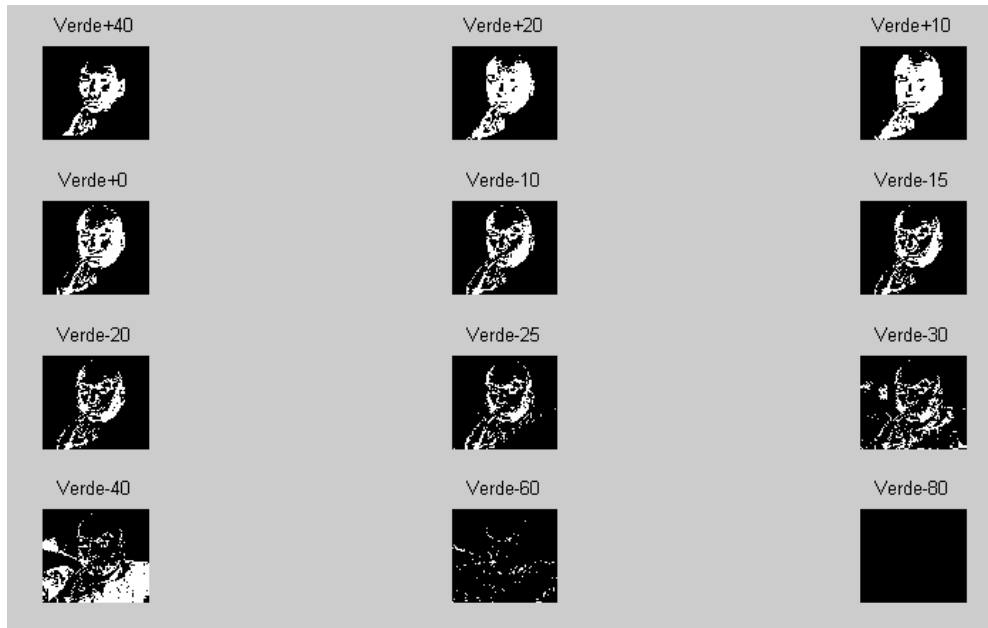


Ilustración 52.Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color verde en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].

Variamos el nivel del color azul:

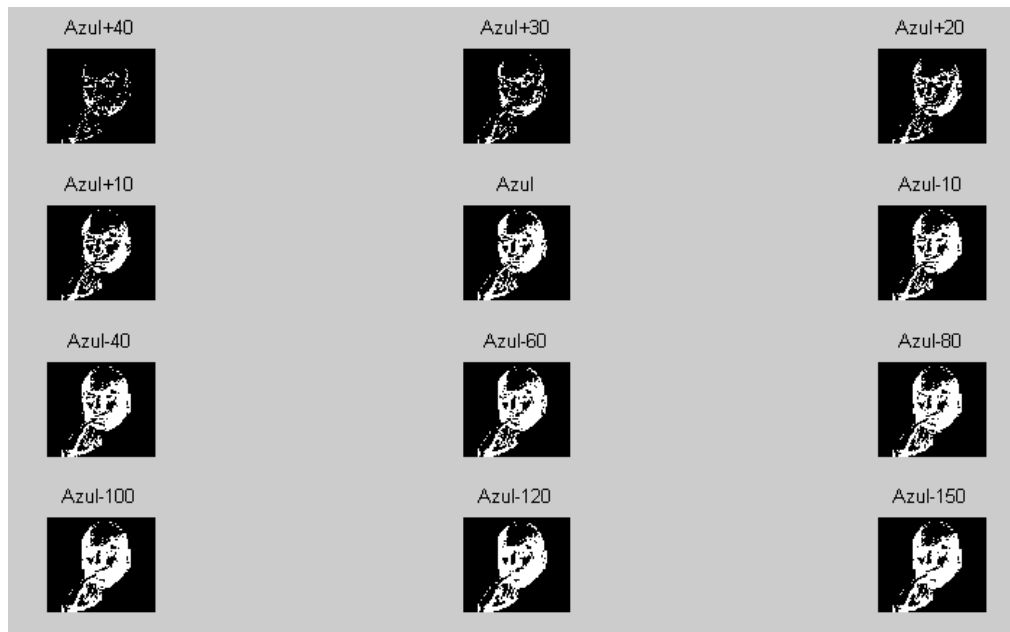


Ilustración 53.Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color azul en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].

Para una persona de raza negra:

Variamos el nivel del color rojo:

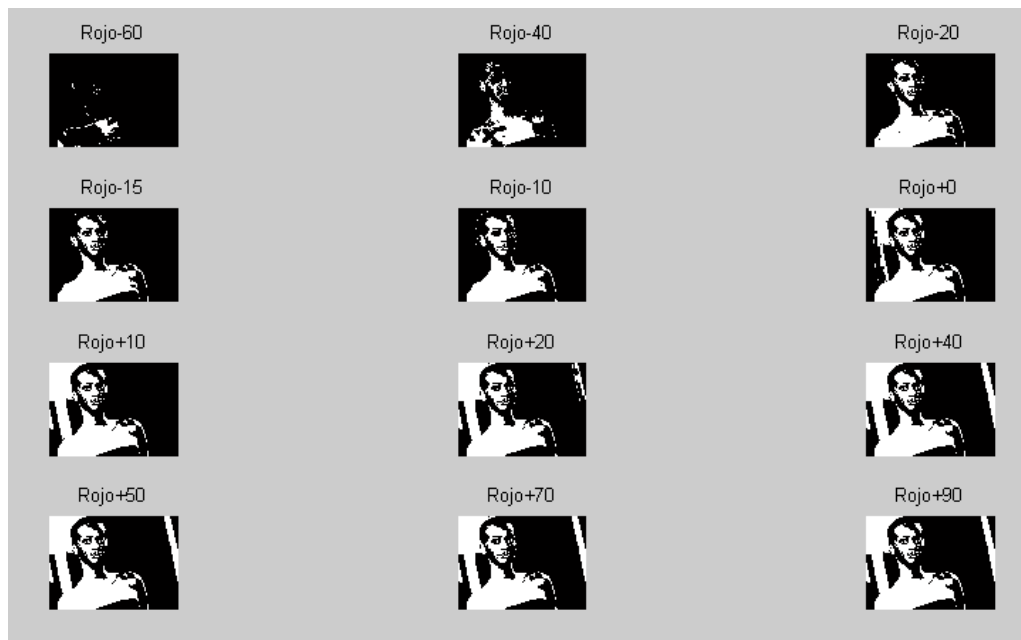


Ilustración 54. Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color rojo en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza negra [22].

Variamos el nivel del color verde:

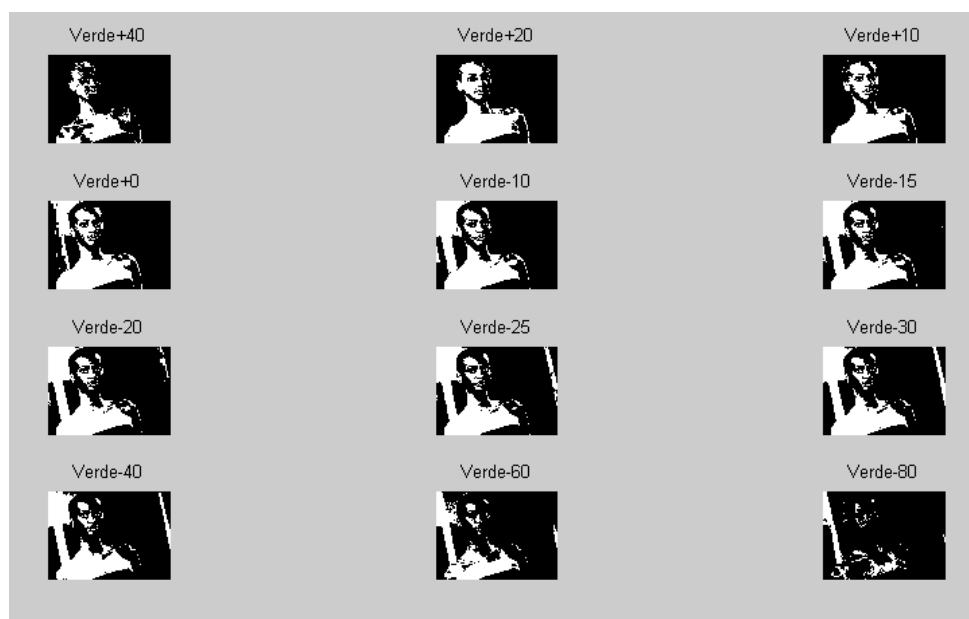


Ilustración 55. Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color verde en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza negra [22].

Variamos el nivel del color azul:

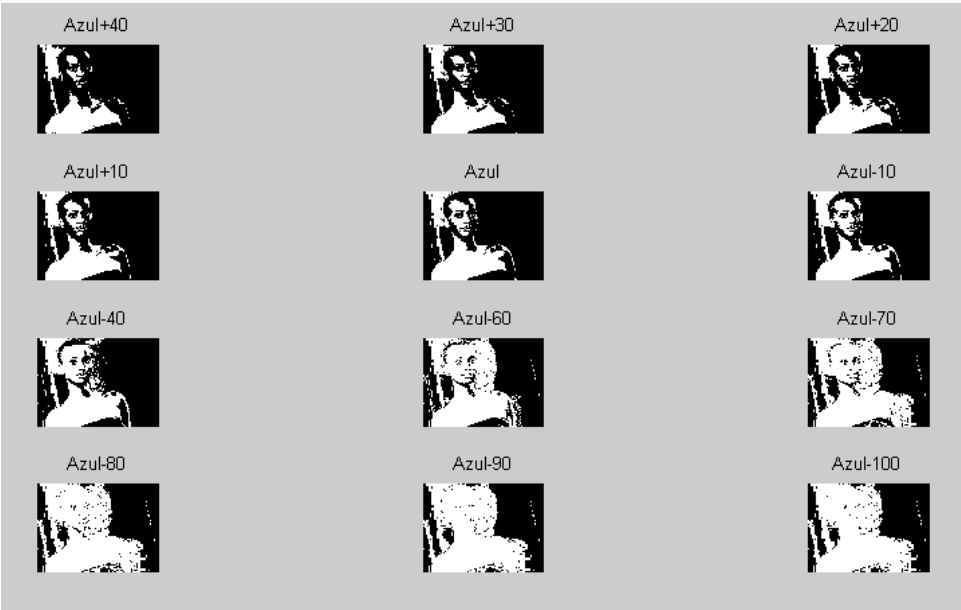


Ilustración 56.Evolucion de la imagen booleana (R>G>B) al modificar el nivel del color azul en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza negra.[22].

Persona de raza amarilla:

Variamos el nivel del color rojo:



Ilustración 57.Evolucion de la imagen booleana (R>G>B) al modificar el nivel del color rojo en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza amarilla.[16].

Variamos el nivel del color verde:



Ilustración 58. Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color verde en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza amarilla.[16].

Variamos el color azul:

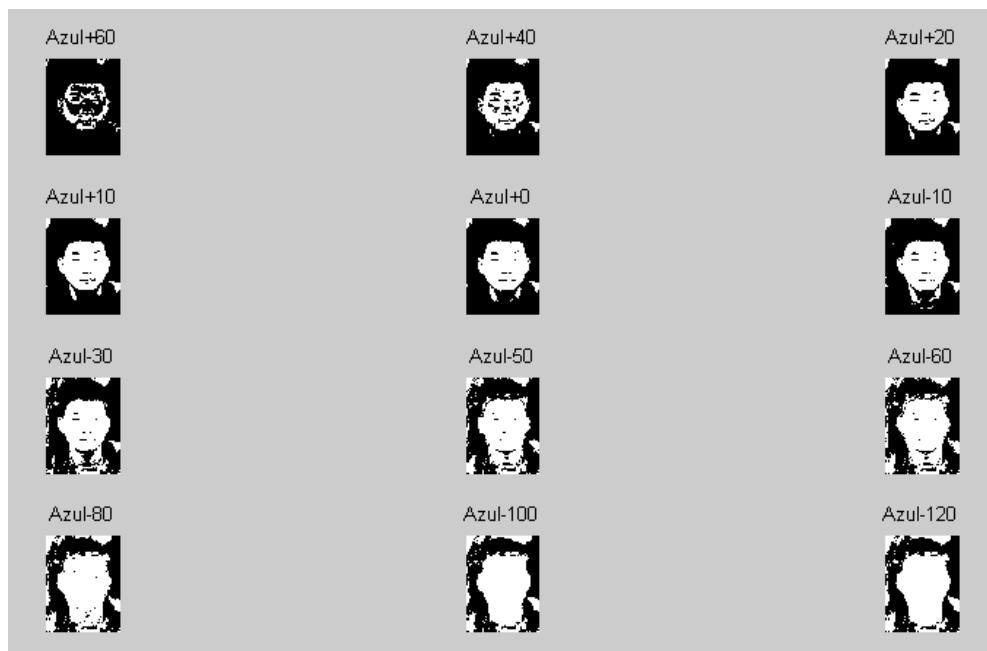


Ilustración 59. Evolucion de la imagen booleana ($R>G>B$) al modificar el nivel del color azul en una imagen con tratamiento de los colores verde y azul, que contiene la cara de una persona de raza amarilla.[16].

A la vista de los nuevos resultados, confirman que el tratamiento de los colores verde y azul ha dado el resultado esperado, la piel de las personas es discriminada con mayor facilidad del entorno. Permitiendo además poder estimar la localización de ojos, labios nariz cejas y otras marcas de la piel. Por otro lado podemos concluir que con la modificación de dos colores podemos conseguir el ajuste adecuado para localizar las zonas de piel en una imagen.

En principio los colores verde y azul quedan en posiciones cercanas, por lo tanto no realizaremos ningún ajuste de nivel en ellos. El color rojo de la imagen obtenida por el tratamiento permite, por su gran diferencia de nivel con los otros dos colores, en las zonas de piel un ajuste de su nivel, realizado con la diferencia de alguno de los valores obtenidos de los niveles de los color verde y rojo de la imagen (positiva o negativa), que permitan estimar esa diferencia de forma que esa aproximación sea la más adecuada. Pues es al color verde al que hay que aproximar o distanciar el ajuste que se haga del nivel del color rojo. Para detectar con claridad las zonas de piel visible y discriminarlas de las zonas cercanas que sean de otros colores. Así todos los colores que no sean anaranjados, se transforman en rosas y si son verdes o azules se resaltan casi hasta saturarse, las zonas oscuras se aclaran y las claras se oscurecen, dejando la imagen lista para pasar la condición $R > G > B$ de umbralización.

Para su ajuste probaremos varios estadísticos como la varianza, mediana y media del nivel de los tres colores de la imagen reducida positiva (la razón de tomar la imagen positiva para los estadísticos está en que las variaciones de los valores de sus estadísticos es el que requeriría hacerse sobre la imagen original), que nos den un valor que sumado al nivel de cada pixel del color rojo, mejore la localización de zonas de la imagen que presentan piel a la vista de personas.

5.4.1 Para la varianza.

Una persona de raza blanca:



Ilustración 60. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la varianza que contiene la cara de una persona de raza blanca.[29].

Una persona raza negra:

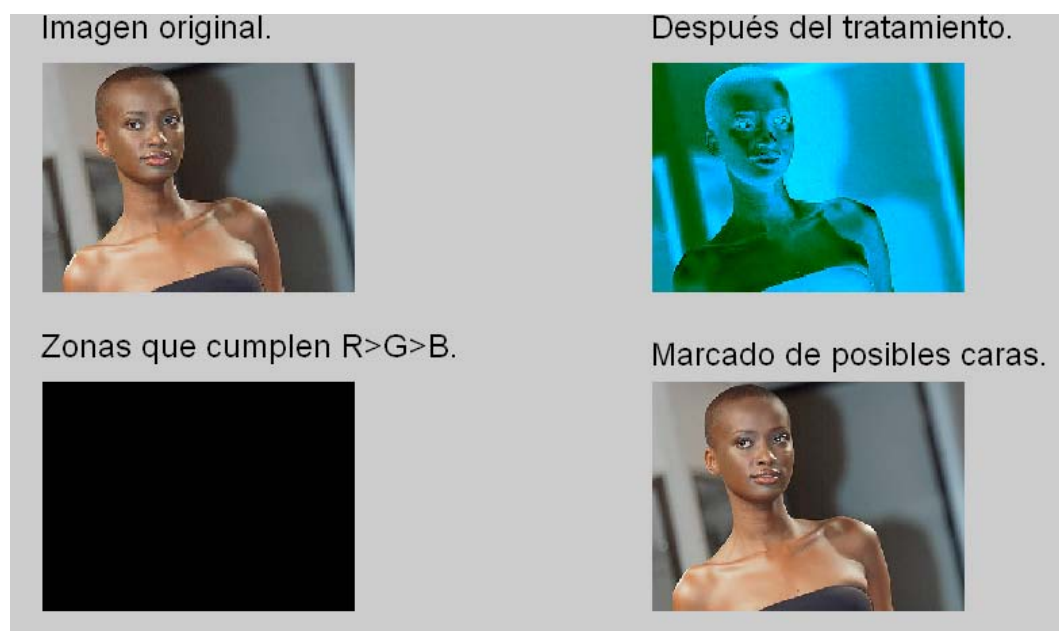


Ilustración 61. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la varianza que contiene la cara de una persona de raza negra [22].

Una persona de raza amarilla:

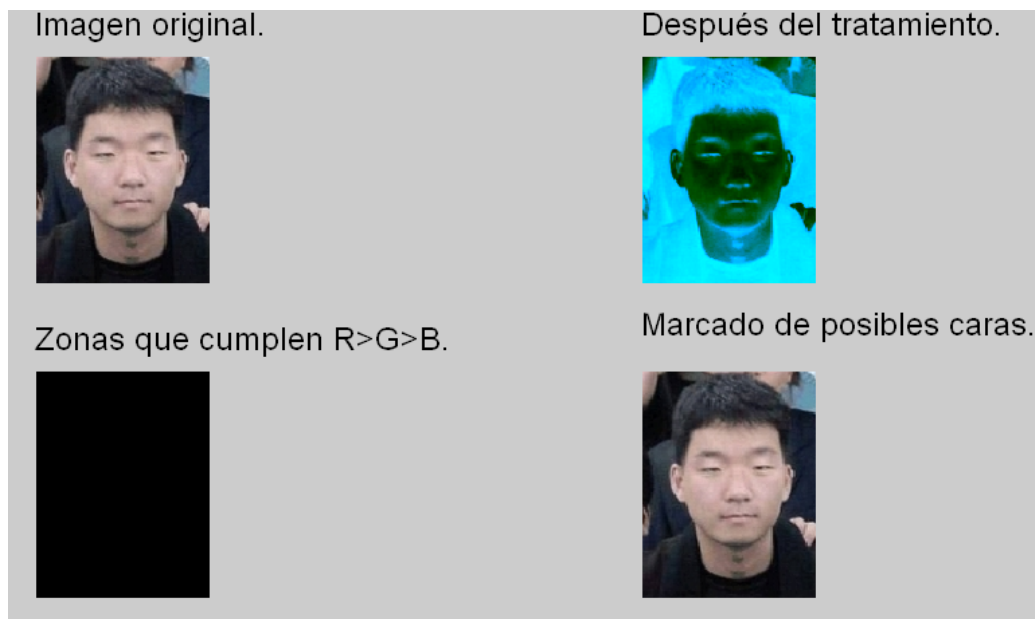


Ilustración 62. Aplicando la condición $R > G > B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la varianza que contiene la cara de una persona de raza amarilla [16].

5.4.2 Para la mediana.

Una persona raza blanca:



Ilustración 63. Aplicando la condición $R > G > B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la mediana que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].

Una persona raza negra:

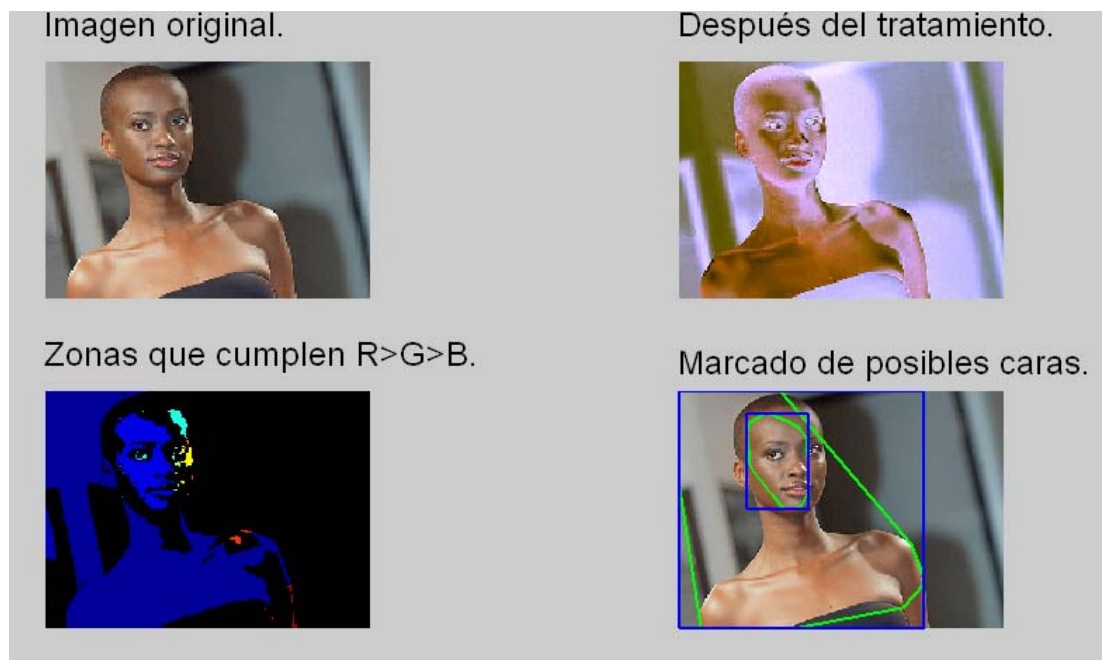


Ilustración 64. Aplicando la condición $R > G > B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la mediana que contiene la cara de una persona de raza negra [22].

Una persona raza amarilla:

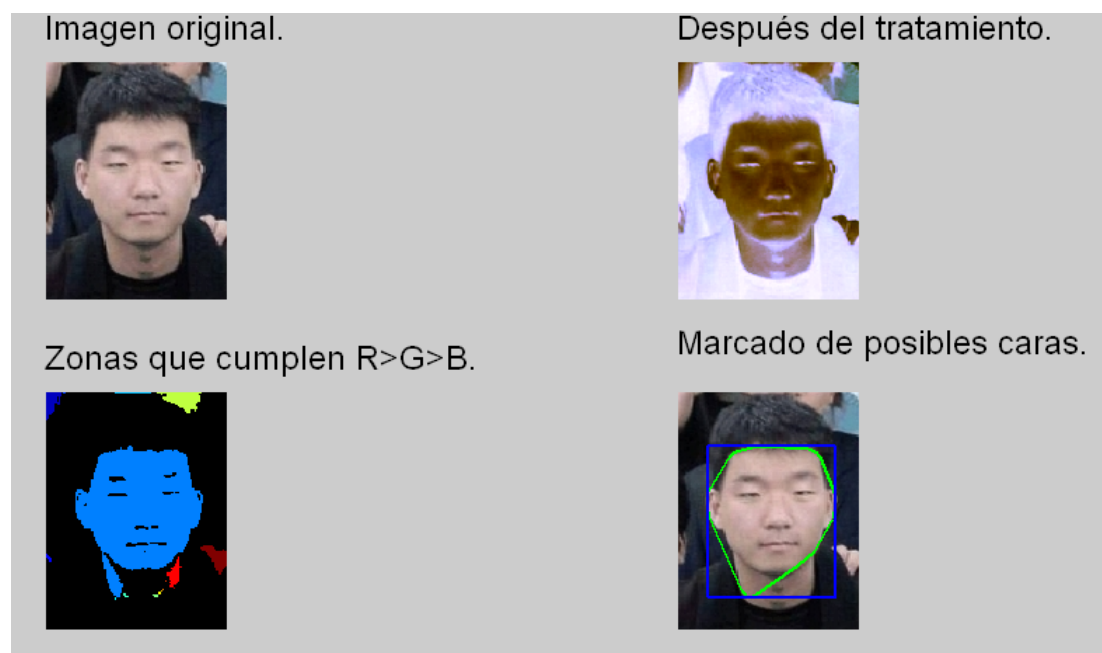


Ilustración 65. Aplicando la condición $R > G > B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la mediana que contiene la cara de una persona de raza amarilla [16].

5.4.3 Para la media.

Una persona raza blanca:

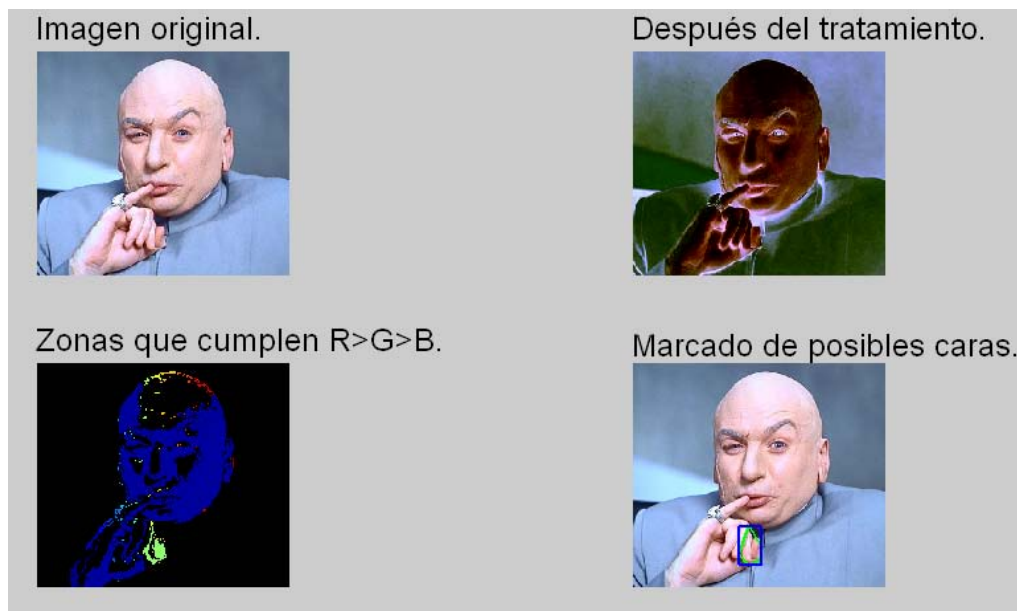


Ilustración 66. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la media que contiene la cara de una persona de raza blanca [29].

Una persona raza negra:

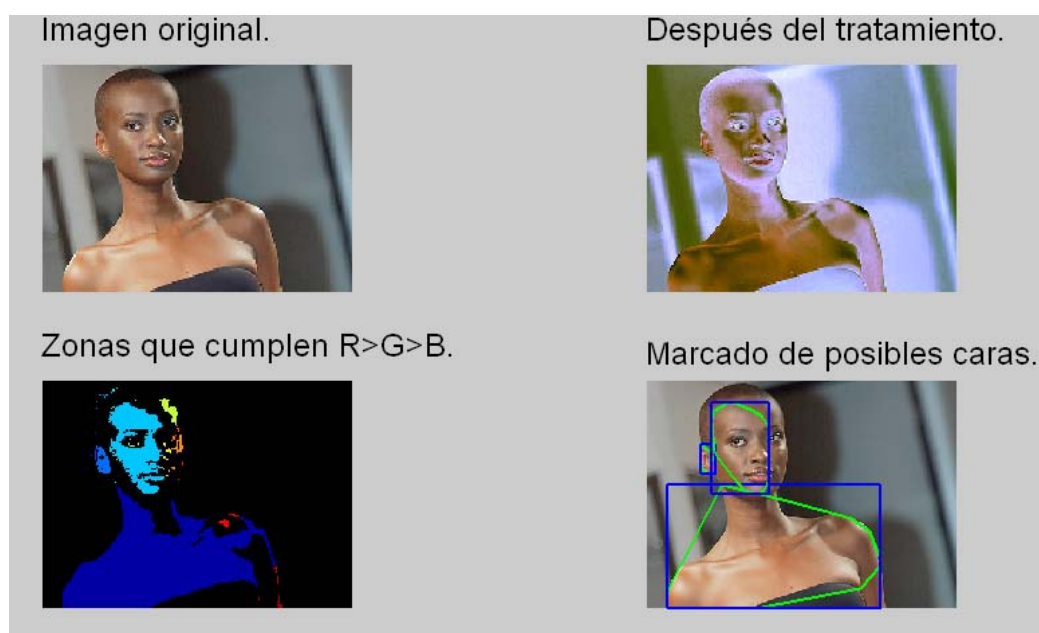


Ilustración 67. Aplicando la condición $R>G>B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la media que contiene la cara de una persona de raza negra [22].

Una persona raza amarilla:

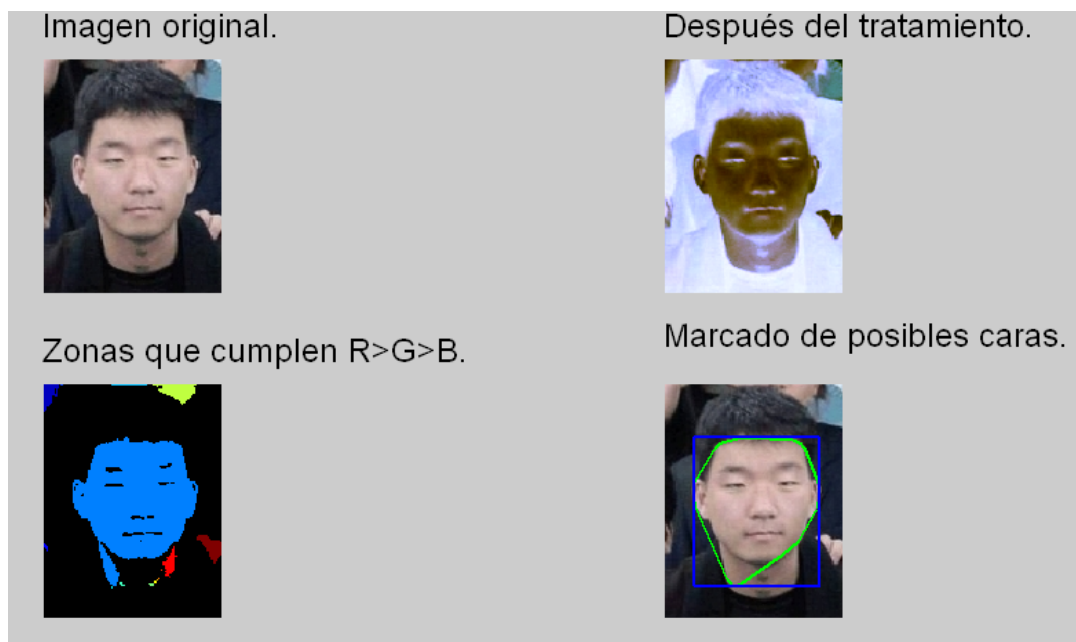


Ilustración 68. Aplicando la condición $R > G > B$ y localización, a la imagen transformada y ajustada en su color rojo con la media que contiene la cara de una persona de raza amarilla [16].

A la vista de los resultados, la media (mean) presenta el ajuste más idóneo, al mejorar la localización de las zonas con piel que presentan una iluminación adecuada. Resultado que ya se podía deducir, al observar los resultados en los cambios de nivel que presentamos en las ilustraciones de los puntos 5.3 y 5.4, en los que la representación de la cara en la matriz binaria, tenía como mejor resultado el del fotograma, con la diferencia más cercana a la que se da entre las medias el color rojo y el verde de la imagen reducida positiva.

Esta transformación de los colores, no ha producido ningún cambio en el dominio en el que se localizan los colores de la piel de las personas ($R > G > B$), aunque si en sus niveles, como podemos observar en la <Ilustración 23> (el dominio que cumple la condición de umbralizado $R > G > B$ está contenido en el tetraedro marcado en color violeta). Pero el resto de los colores si sufren cambios importantes dentro del otro dominio.

La razón que justifica el uso de la diferencia de medias, está en que permite ajustar muy cerca del límite de no cumplimiento de la condición $R > G > B$, de las zonas de piel visible, consiguiendo que las zonas que las rodean, si no tienen colores cercanos a los de la piel no cumplan la condición. (Ver en el capítulo 8.4 punto 1 “Futuras líneas de trabajo”).

6 Desarrollo de la solución

6.1 Herramientas y modelo de conocimiento de la aplicación

La herramienta utilizada para el desarrollo es “MATLAB R2007b”. Por varias razones, el entorno de trabajo, da la posibilidad de tener accesible a la vez en diferentes ventanas, el directorio de trabajo, en el que se encontraran archivos que necesitemos para trabajar, el espacio de trabajo en el que aparecerán todas las variables utilizadas (dando sus propiedades de tipo, valores extremos, dimensiones y otras propiedades seleccionables), el histórico de comandos utilizados y otra de ejecución de comandos. Tiene editor de textos con todo tipo de detalles para escribir programas. Cuenta con un entorno de simulación grafico “SIMULINK”, que permite ver en diferentes formatos (graficas e imágenes) la evolución de un sistema simulado. El lenguaje que utiliza esta herramienta es de alto nivel, muy parecido a la mayoría de los lenguajes de programación, con la diferencia de estar orientado a la ingeniería, siendo tratadas todas las variables como matrices. Tiene implementadas funciones, que realizan tareas concretas o ajustables, aplicables en la Ingeniería de una forma general. Posee librerías para traducir programas a otros lenguajes y una librería bibliográfica de apoyo.

Las funciones específicas utilizadas, se describen a continuación:

Imcomplement (Variable que contiene o apunta a la imagen en RGB):

Función que permite generar el negativo de una imagen RGB.

bwlabel (Imagen booleana,4):

La función asigna el mismo valor numérico a todos los pixeles de una misma zona, compuesta de unos en una imagen booleana, considerando que son de la misma zona aquellos pixeles que cumplen con la condición de conectividad indicada “4”, después de la variable que contiene a la imagen booleana (binaria).

***regionprops* (variable que contiene a la imagen resultado de aplicar “*bwlabel()*” a la imagen booleana, 'area', 'MajorAxisLength', 'MinorAxisLength', 'ConvexHull', etc):**

Función que permite obtener parámetros (área (en píxeles), eje mayor, eje menor, polígono en el que queda inscrita cada zona, etc), de las zonas de píxeles delimitadas por un valor dado por la función “*bwlabel()*” aplicada sobre una imagen booleana (binaria).

6.2 Solución

6.2.1 Adquisición y ajuste de la imagen

Comienza con la lectura del archivo, que contiene la imagen en color (jpg, png o tiff) convirtiéndola en una matriz de tres dimensiones ($m \times n \times 3$), las dos primeras dimensiones son el cuadro de la imagen y la tercera los tres colores básicos RGB (rojo, verde, azul), que componen la imagen, (esta entrada de datos puede ser una cámara ver capítulo 8.4 “Conclusiones y futuras líneas de trabajo”). Después se hace el ajuste del tamaño de los tres colores (matrices) RGB que utilizara el siguiente modulo. Mediante unas condiciones se elige el factor de reducción “*f*”, que se estima para la mayor de las dimensiones permitiendo así hacer la mayor reducción posible, mejorando el tiempo de procesado en los siguientes módulos, sin perder mucha información de la imagen.

El código:

Lectura del archivo que contiene la imagen:

```
H = imread( 'Imagen.jpg' );
```

Determinación de la mayor de las dimensiones y mediante unas condiciones se estima el valor del factor de reducción “*f*”:

```

f1=size(H(:,:,1),1);
f2=size(H(:,:,1),2);

if(f1>f2)
    if(f1>3000)
        f=double(3*int8(f1/1000));
    elseif((f1>=2000) && (f1<=3000))
        f=6;
    elseif((f1>=800) && (f1<2000))
        f=4;
    elseif((f1<800) && (f1>=300))
        f=2;
    else
        f=1;
    end
end

if(f1<=f2)
    if(f2>3000)
        f=double(3*int8(f2/1000));
    elseif((f2>=2000) && (f2<=3000))
        f=6;
    elseif((f2>=800) && (f2<2000))
        f=4;
    elseif((f2<800) && (f2>=300))
        f=2;
    else
        f=1;
    end
end

```

Se crea la nueva matriz RGB que representa la imagen ajustada al tamaño seleccionado (imagen positiva reducida):

```

x=[1:f:f1];
y=[1:f:f2];
h= H(x,y,:);

```

Se crea el negativo de la nueva imagen:

```

hc=imcomplement(h);
Hc= imcomplement (H);

```

Codigo para la obtencion de la siguiente ilustracion:

```
subplot (2,2,1), imshow (H); title ( size(H(:,:,1),1),
size(H(:,:,1),2))
subplot (2,2,2), imshow (Hc); title ( size(Hc(:,:,1),1),
size(Hc(:,:,1),2))
subplot (2,2,3), imshow (RGB); title ( size(h(:,:,1),1),
size(h(:,:,1),2))
subplot (2,2,4), imshow (H); title ( size(hc(:,:,1),1),
size(hc(:,:,1),2))
```

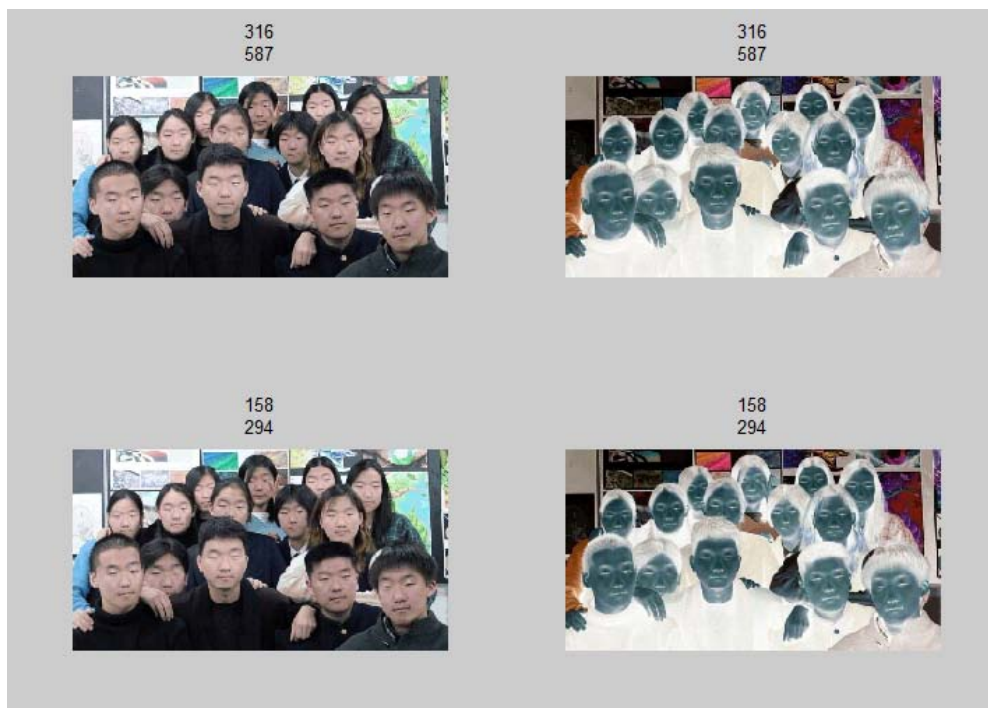


Ilustración 69. Imagen antes y después de la reducción [16].

6.2.2 Tratamiento de los tres colores

En este paso se realiza una serie de cálculos, con los colores en su forma positiva y negativa, que recibe del paso anterior generando una nueva imagen, preparada para

entregar al siguiente paso, que conserva las mismas dimensiones que la imagen reducida en RGB. Convertidos al formato entero de dieciséis bits, para que las operaciones no sufran truncamientos o redondeos, que podrían darse si se utilizan enteros de ocho bits. Para una vez terminados los cálculos, pasarlos de nuevo a enteros de ocho bits usados en las imágenes RGB de 24 bits.

El código:

Cálculo de la media de cada color:

```
n11=mean(mean(h(:,:1)));
n12=mean(mean(h(:,:2)));
n13=mean(mean(h(:,:3)));
jj=uint8(zeros(size(h))); % Variable que contendrá la imagen tratada.
```

El complementario del color azul pasa a ser el color rojo, mas la diferencia de medias del color verde menos la del rojo de la imagen positiva reducida:

```
jj(:,1)=(n12-n11)+hc(:,3);
```

El color verde se obtiene de sumar al color verde, la diferencia del complementario del color azul y el color rojo de la imagen reducida para suavizarlo:

```
jj(:,2)=uint8(int16(h(:,2))+int16(hc(:,3))-
int16(h(:,1)));
```

El color azul se obtiene del complementario del color rojo, mas la diferencia del complementario del color azul y el color rojo para suavizarlo:

```
jj(:,3)=uint8(int16(hc(:,1))+int16(hc(:,3))-
int16(h(:,1)));
```



```
figure, imshow (uint8(jj)); % Da como resultado la
representación de la imagen resultante.
```



Ilustración 70. Imagen después del tratamiento [16].

6.2.3 Umbralización

En este paso se toma la imagen RGB que entrega el paso anterior, pasando a realizar la comparación $R > G > B$, con la que se consigue una imagen booleana (binaria), en la que se vemos si el nivel de los colores rojo y azul están bien ajustados, formas elípticas formadas por zonas de unos, dentro de las que podrán encontrarse zonas de ceros, que podrán corresponder a alguna característica facial como los ojos, cejas, labios, nariz u otras marcas faciales.

El código:

Se aplica la condición $R > G > B$:

```
KK=jj(:, :, 1) > jj(:, :, 2) & jj(:, :, 2) > jj(:, :, 3);
```

```
figure, imshow (KK); % Representación de la imagen
resultante.
```



Ilustración 71. Imagen booleana resultante [16].

6.2.4 Toma de parámetros

En este paso se trata la imagen booleana (binaria), recibida del paso anterior, obteniendo de todas las zonas formadas por unos, aunque toquen los bordes de la imagen, las siguientes características o parámetros (área (en píxeles), eje mayor, eje menor, coordenadas de los vértices del polígono en el que queda inscrita la zona de unos, número de Euler, etc).

El código:

-Inicialmente se hace un etiquetado por numerado con un mismo número, de todos los píxeles de cada zona formada por unos.

```
LLLL = bwlabel(KK,4);
```

Esta imagen se trata para obtener las características en una estructura de datos:

```
ss = regionprops(LLLL,'area','MajorAxisLength' ,  
'MinorAxisLength' , 'ConvexHull' ,  
'BoundingBox','ConvexArea','EulerNumber');  
  
RGB = label2rgb(LLLL, @jet, 'k');
```

```
figure, imshow(RGB, 'notruesize'); % Representación de la
imagen.
```

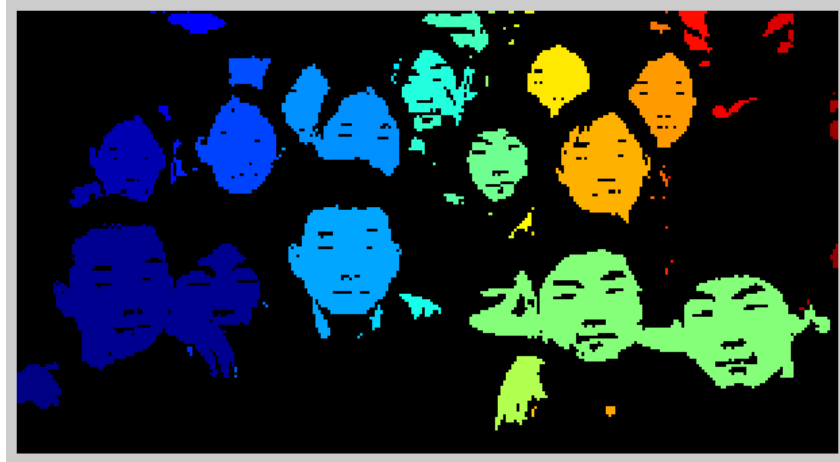


Ilustración 72. Cada campo de unos tiene un color [16].

6.2.5 Estimación de las elipses

Este paso recibe la estructura de datos generada en el paso anterior, estableciendo unas condiciones para conseguir discriminar, las elipses que pertenecen a caras reales y las que no.

El código:

Procede a comprobar si cada posible elipse cumple a la vez las condiciones; si “El área de la posible cara $> \text{área imagen} / (2^{\text{ª}} \text{dimension de la imagen} / f)$ ” , si “El número de lados del polígono en el que queda inscrita la posible cara > 5 ” , el numero de zonas de ceros dentro del área de unos estudiada menos uno ≤ 0 , $2 * \text{Área de la posible cara} > \text{Área del rectángulo dentro del que esta la posible cara}$, si el eje mayor $< 3 * \text{eje menor}$.

```
figure, imshow (H);hold on;
```

```
sss=zeros(1,size(ss,1));
```

```

ssss=ones(1,size(ss,1));

for n5=1:size(ss,1)
    if ss(n5,1).Area>size(h,1)*size(h,2)/(size(h,2)*f) &
        size(ss(n5,1).ConvexHull,1)>5 &
        ss(n5,1).EulerNumber<=0 & 2*ss(n5).Area >
        ss(n5).ConvexArea & ss(n5,1).MajorAxisLength <
        3*ss(n5,1).MinorAxisLength

        for n6=1:size(ss(n5,1).ConvexHull,1)-1

% Dibujamos del polígono que rodea a la posible cara.

            xxx=[f*ss(n5,1).ConvexHull(n6,1),f*ss(n5,1).Conve
            xHull(n6+1,1)];
            yyy=[f*ss(n5,1).ConvexHull(n6,2),f*ss(n5,1).Conve
            xHull(n6+1,2)];
            plot(xxx,yyy);

% Dibujamos el cuadro que circunscribe al polígono que
rodea a la posible cara.

            xx=f*[ss(n5,1).BoundingBox(1)
            ss(n5,1).BoundingBox(1)+ss(n5,1).BoundingBox(3)
            ss(n5,1).BoundingBox(1)+ss(n5,1).BoundingBox(3)
            ss(n5,1).BoundingBox(1) ss(n5,1).BoundingBox(1)];
            yy=f*[ss(n5,1).BoundingBox(2)
            ss(n5,1).BoundingBox(2)
            ss(n5,1).BoundingBox(2)+ss(n5,1).BoundingBox(4)
            ss(n5,1).BoundingBox(2)+ss(n5,1).BoundingBox(4)
            ss(n5,1).BoundingBox(2)];
            plot(xx,yy);
        end
    end
end

```

end

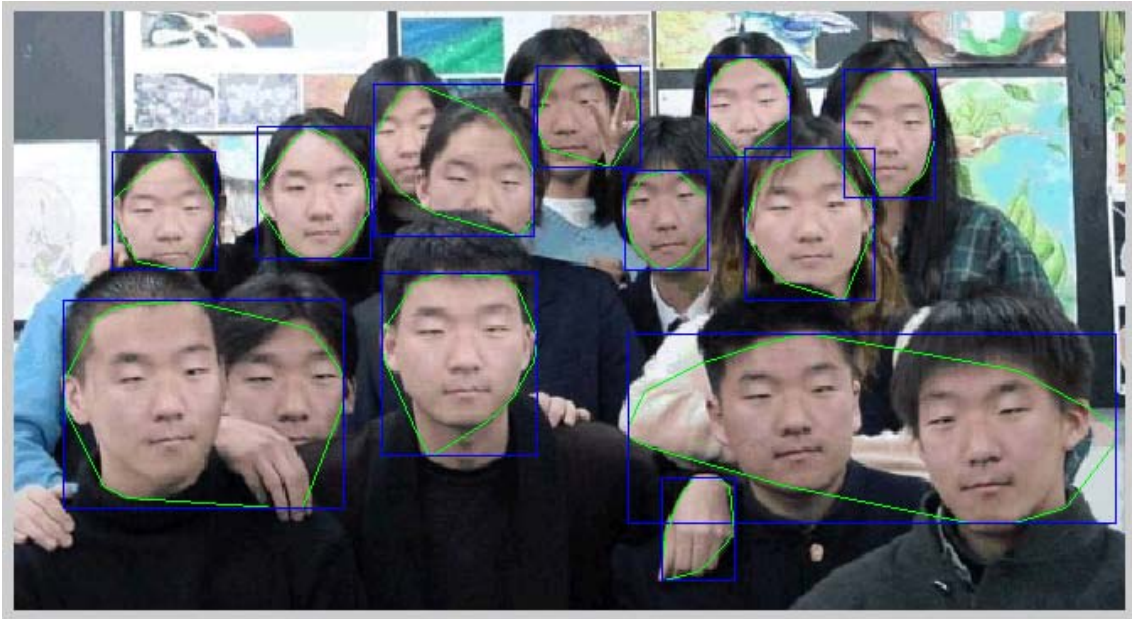


Ilustración 73. Dibujado de los polígonos circunscritos [16].

7 Resultados

Para comprobar la robustez de la aplicación o sistema desarrollado, se realizan varias pruebas:

- Tamaño mínimo.
- Casos en los que la cara ocupa toda la imagen.
- Grupo de personas
- Personas a diferente distancia de la cámara.
- Persona con pelo moreno.
- Persona con el pelo rubio.
- Persona pelirroja.
- Persona sin pelo.
- Personas con ropa en color naranja.
- Personas sobre fondo anaranjado.
- Personas en bañador.
- Objeto de color naranja con forma elíptica.
- Personas en posición circular.
- Imagen sin personas.

Las pruebas no incluyen personas de raza amarilla, por considerar que las personas de raza blanca que aparecen en las imágenes utilizadas, las representan, no aportando resultados muy diferentes.

7.1 Tamaño mínimo:

La realización de esta prueba, busca demostrar la robustez de la aplicación, frente a la variación del tamaño de la imagen. Llegamos a un tamaño de pixel pero estas dimensiones no son útiles, salvo para contar personas, en imágenes con un grupo de personas que miran a la cámara, siempre que no estén muy cerca sus caras entre sí. El

resultado es bueno. Esto permitirá utilizar una gran reducción de la imagen a tratar, mejorando los tiempos de trabajo del sistema.



Ilustración 74. Para una persona de raza blanca [28].



Ilustración 75. Para una persona de raza negra [22].

7.2 Casos en los que la cara ocupa toda la imagen

Con esta prueba, se pretende demostrar la robustez de la aplicación, frente a casos en los que la cara ocupa toda la imagen. Se produce la localización de parte de la cara, debido a que las zonas más iluminadas, así como las menos iluminadas, dan lugar a campos de ceros en la imagen binaria, produciendo límites dentro de las zonas de campos de unos, que dificultan la localización clara de la cara. Aquí tenemos un problema que la aplicación no ha superado, pero que con un tratamiento previo de la imagen que suavice la iluminación, tomando las imágenes en un entorno controlado o haciendo que el sistema haga una búsqueda dinámica, lo resolvería. Observar que el iris se puede delimitar con facilidad, permitiendo usar el programa en el análisis de este, con cámaras de enfoque o en imágenes de gran resolución. El resultado no es todo lo bueno que se desea, pero con mejoras se podría obtener un mejor resultado (ver: capítulo 8.4 “Futuras líneas de trabajo”).

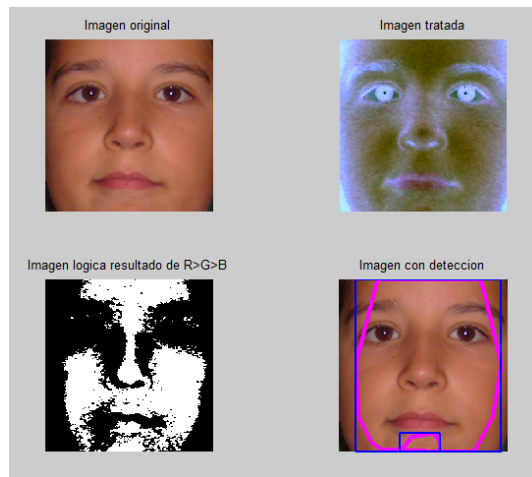


Ilustración 76. Para una persona de raza blanca [28].

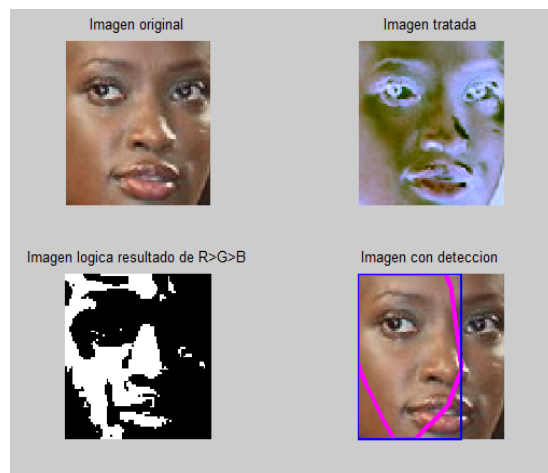


Ilustración 77. Para una persona de raza negra [22].

7.3 Grupo de personas

Con esta prueba se pretende demostrar la robustez de la aplicación, cuando en la imagen aparecen varias personas. En esta imagen se complica la localización, por la distancia a la cámara y la variación de la iluminación. Todas las caras no son localizadas, a pesar del ajuste que realiza la aplicación si las marca (ver la imagen binaria). Se proponen mejoras en el capítulo 8.4 “Futuras líneas de trabajo”.

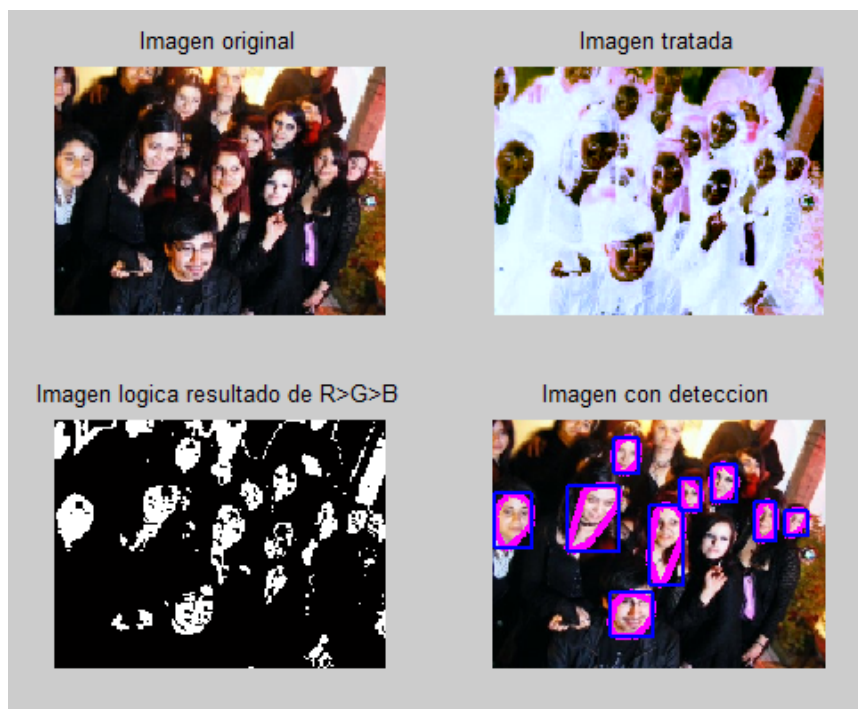


Ilustración 78. Grupo de personas [30].

7.4 Personas a diferente distancia de la cámara

Con esta prueba se pretende ver la robustez de la aplicación, frente a imágenes con personas situadas a distinta distancia de la cámara. Se puede observar que se concreta la localización, de las zonas correspondientes a las caras pero no se hace una determinación concreta de todas las caras, al no tener bien definida la elipse facial. El resultado es bueno, aunque no se haga una localización precisa debido a que el ajuste que realiza la aplicación no es el idóneo. Ver puntos 1 y 3 del capítulo 8.4 “Futuras líneas de trabajo”.

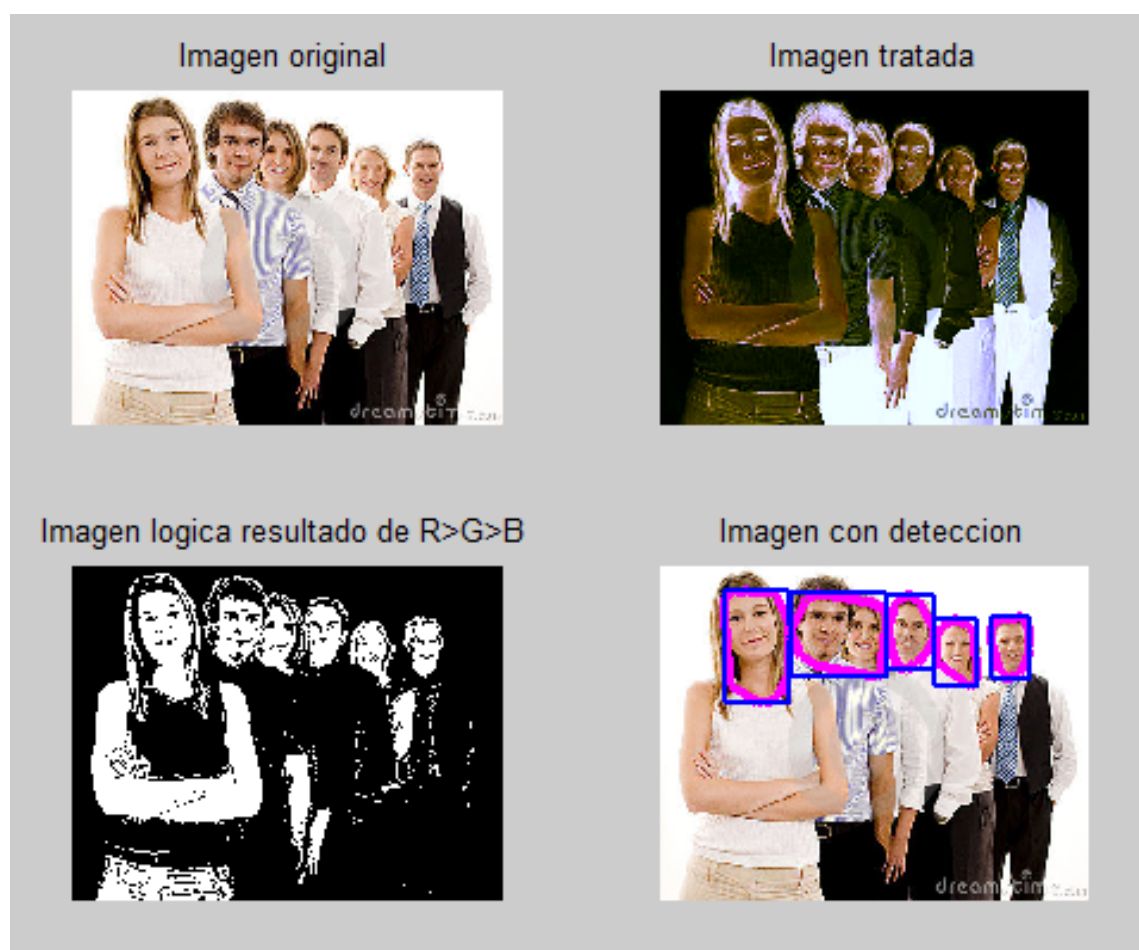


Ilustración 79. Personas a diferente distancia de la cámara [31].

7.5 Persona con pelo moreno

Con esta prueba se pretende demostrar que el sistema es robusto, cuando las personas que aparecen en la imagen tienen el pelo moreno. Esta imagen presenta un caso en el que el fondo o entorno (color verde) sobre el que esta la persona, es favorable para la localización de la cara. Se pueden ver claramente los labios en la imagen booleana. El resultado es bueno, pero el ajuste que realiza la aplicación no es el idóneo, porque se localiza como una cara una prenda, para evitar esto habría que mejorar el sistema. Ver el capítulo 8.4 “Futuras líneas de trabajo”.

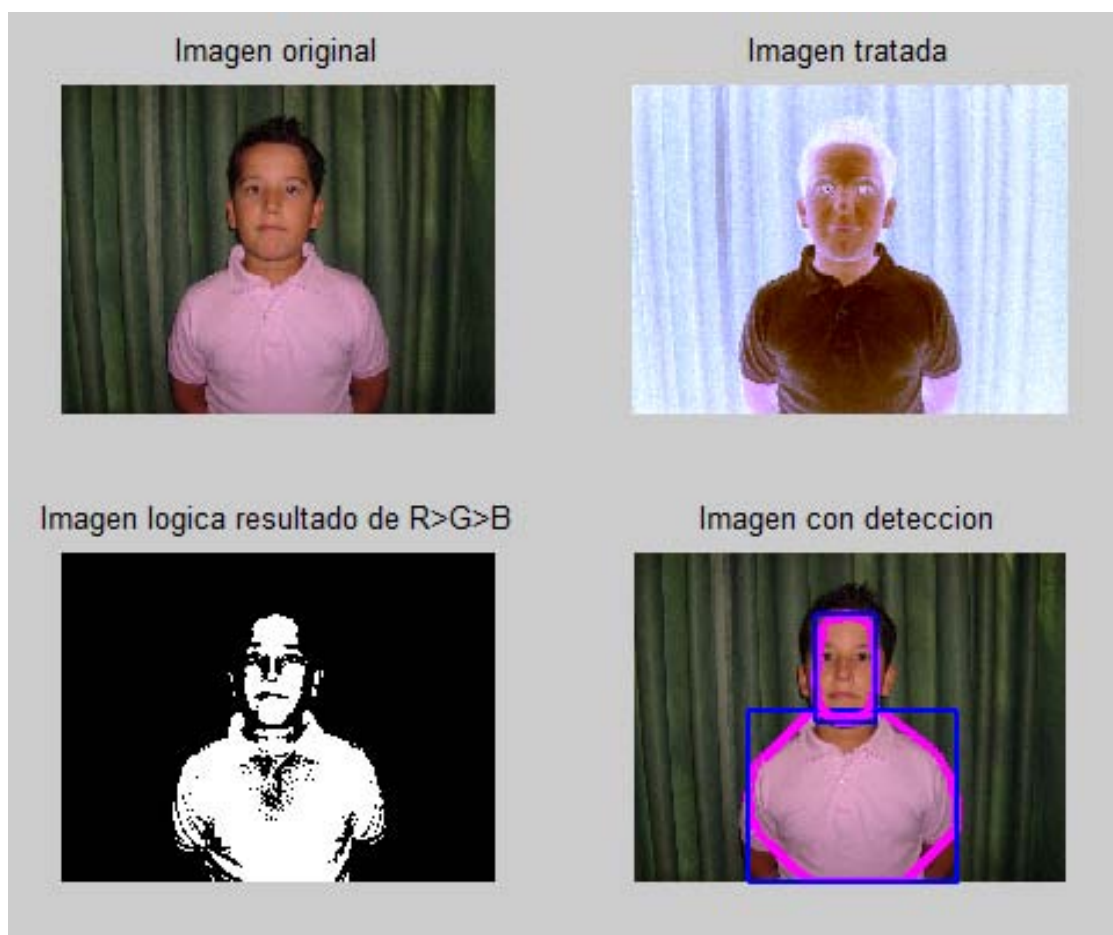


Ilustración 80. Persona con pelo moreno [28].

7.6 Persona con pelo rubio

Esta prueba es necesaria para ver la robustez de la aplicación, ante la presencia de personas que tengan el pelo rubio. Se pueden ver claramente los ojos y los labios en la imagen booleana. El resultado es bueno, pero el color del pelo dificulta la localización de la cara. Ver mejoras propuestas del capítulo 8.4 “Futuras líneas de trabajo”.

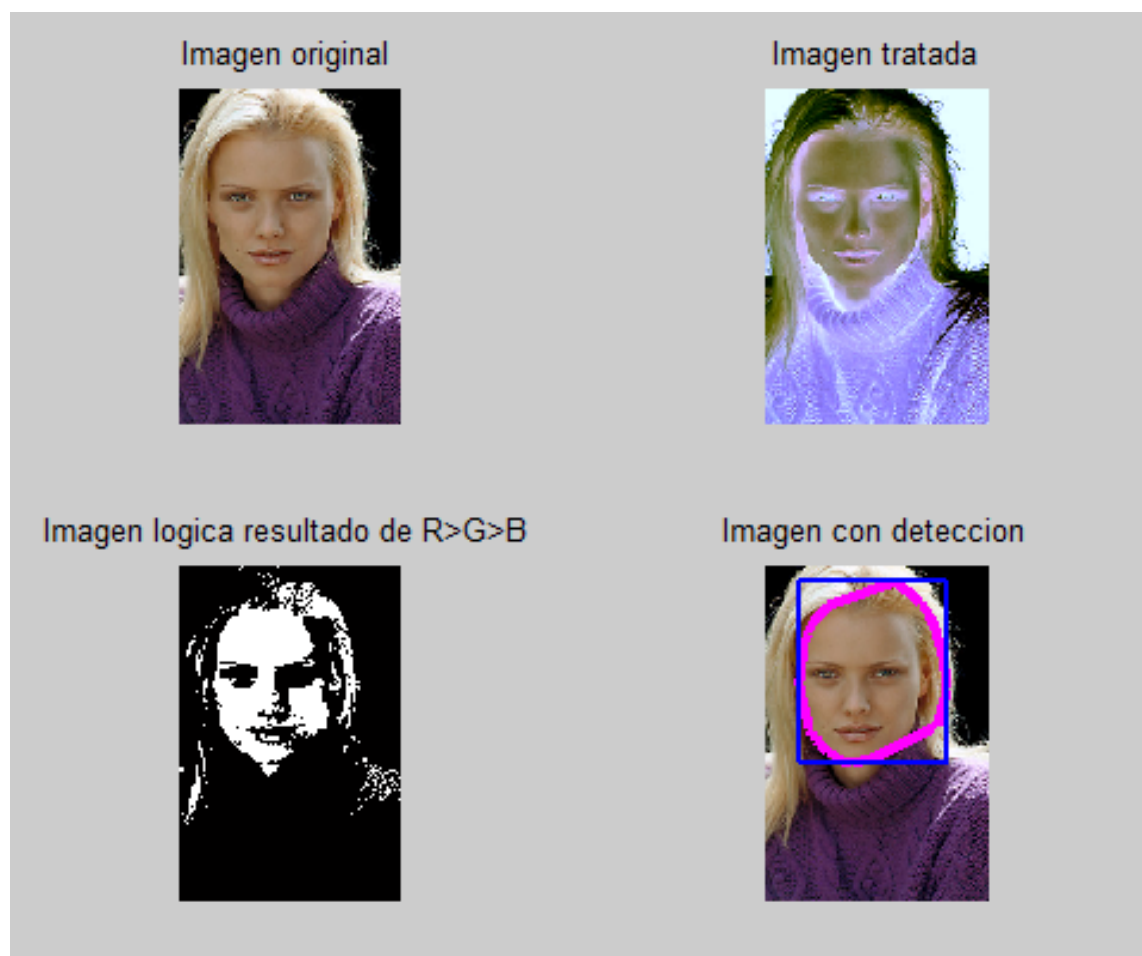


Ilustración 81. Persona con pelo rubio [20].

7.7 Persona pelirroja

Esta prueba, permite ver la robustez de la aplicación, en imágenes que contienen personas pelirrojas. El pelo de este color dificulta la localización de la elipse facial. Al

tener los hombros al descubierto la localización se complica. Se pueden ver claramente los ojos y los labios en la imagen booleana. El resultado es bueno, porque el ajuste que realiza la aplicación ha sido el idóneo.

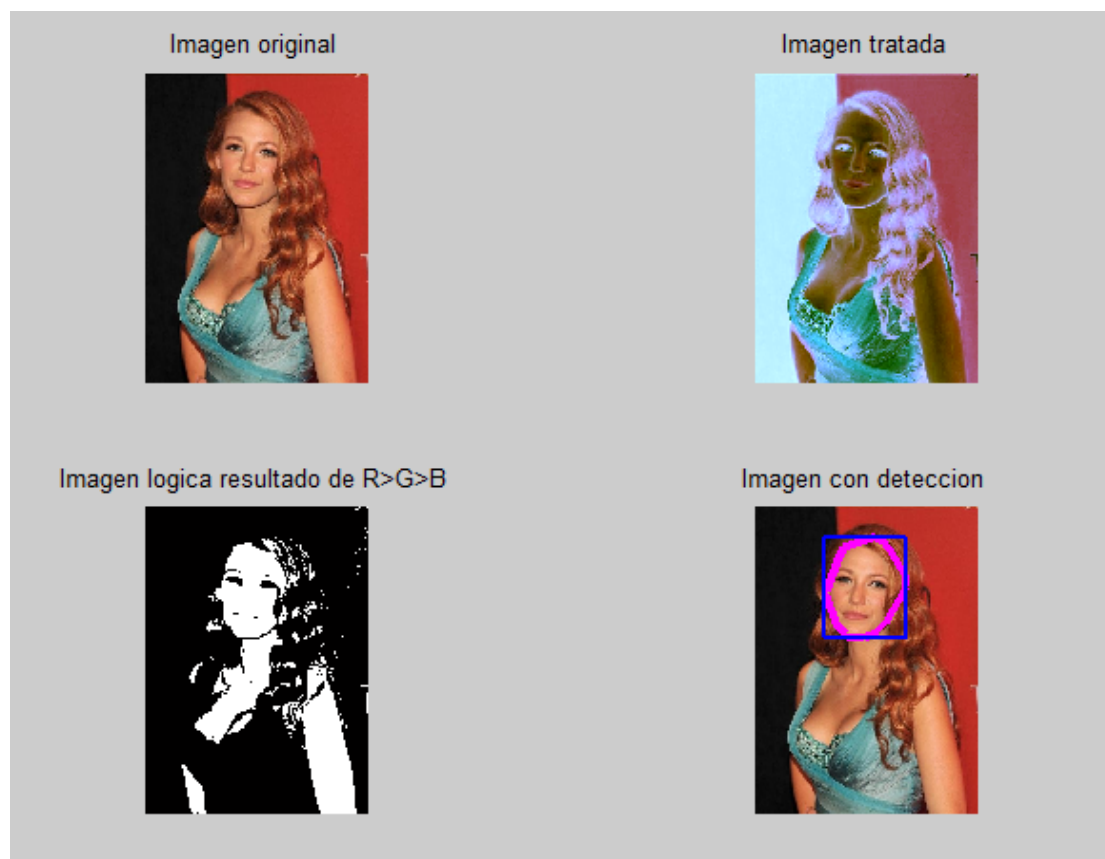


Ilustración 82. Persona pelirroja [18].

7.8 Persona sin pelo

Esta prueba permite ver la robustez de la aplicación, frente a imágenes con personas sin pelo. En la imagen el fondo es favorable, permitiendo un buen resultado, con la excepción de la mano, que al cumplir su polígono circunscrito las condiciones, para considerarlo una elipse la considera una posible cara. El resultado es bueno porque el ajuste que realiza la aplicación es el idóneo. Mejorable, si se desarrollan las líneas de trabajo propuestas en el capítulo 8.4 “Futuras líneas de trabajo”.

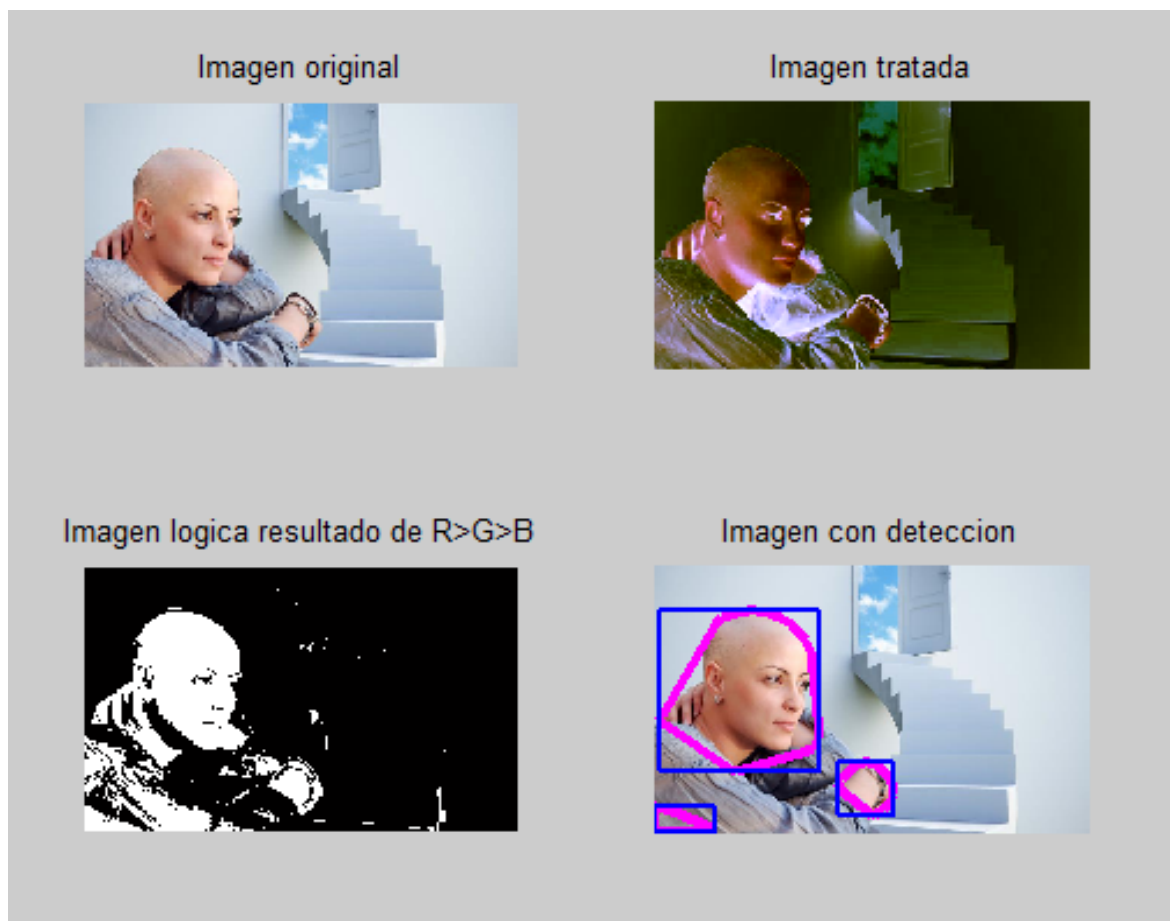


Ilustración 83. Persona sin pelo [15].

7.9 Personas con ropa en color naranja

Esta prueba permite ver la robustez de la aplicación, frente a personas que aparezcan en la imagen, con ropa de colores próximos a los buscados. Como podemos observar la localización se complica, sobre todo por la existencia de una gran zona de color anaranjado, lo que causa un ajuste de los colores no es el idóneo. El resultado es malo pero mejorable, ver propuestas en el capítulo 8.4 “Futuras líneas de trabajo”.

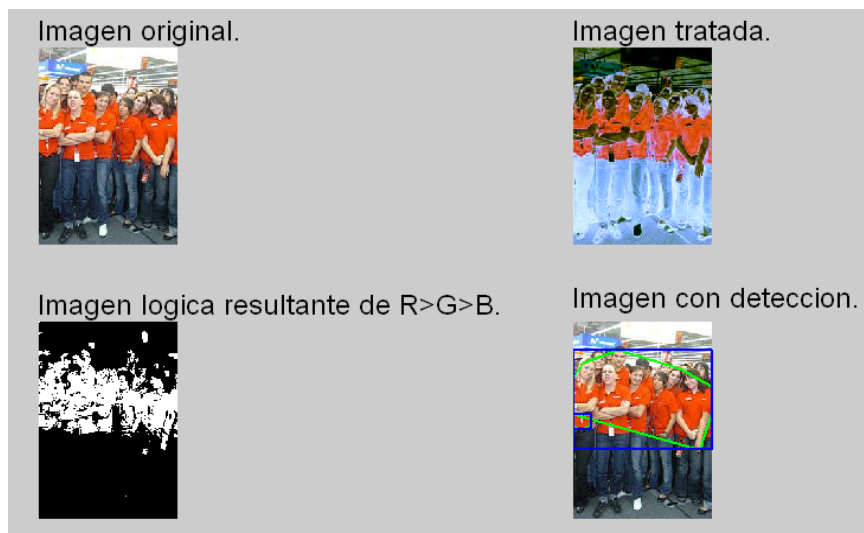


Ilustración 84. Personas con ropa roja [23].

7.10 Personas sobre fondo anaranjado

Esta prueba permite ver la robustez de la aplicación, en la localización de personas sobre un fondo de color próximo al buscado. El resultado se debe a que el fondo no es favorable y dada las dimensiones del fondo con ese color el ajuste que realiza la aplicación de los colores no es el idóneo. Ver las propuestas del capítulo 8.4 “Futuras líneas de trabajo” para mejorar la aplicación.

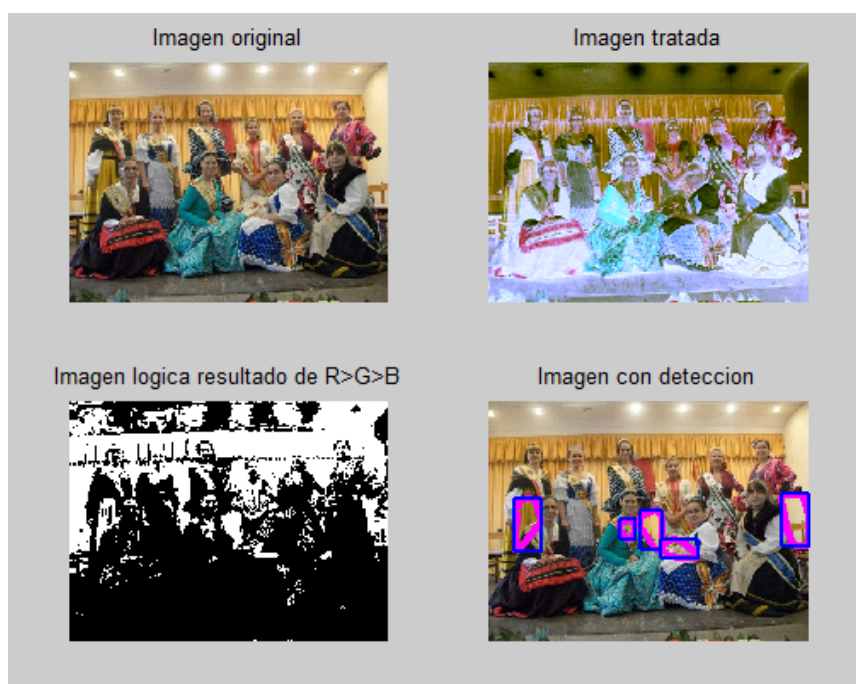


Ilustración 85. Personas sobre fondo anaranjado [17].

7.11 Personas en bañador

Esta prueba permite ver la robustez de la aplicación, ante imágenes con personas que muestran casi toda la superficie de su piel. El resultado es malo debido a que el fondo es marrón ocupando mucha superficie, las personas están desnudas, próximas entre si y lejos de la cámara. Por lo que el ajuste que realiza la aplicación de los colores no es el idóneo. Ver las mejoras propuestas en el capítulo 8.4 “Futuras líneas de trabajo”.



Ilustración 86. Personas en bañador [21].

7.12 Objeto de color naranja con forma elíptica

Esta prueba permite ver la robustez de la aplicación, ante la presencia de un objeto de color anaranjado o próximo a los colores de piel buscados y con forma similar a la de una elipse. El resultado es malo, pues lo localiza como una posible cara. Verlas mejoras propuestas en el capítulo 8.4 “Futuras líneas de trabajo”.

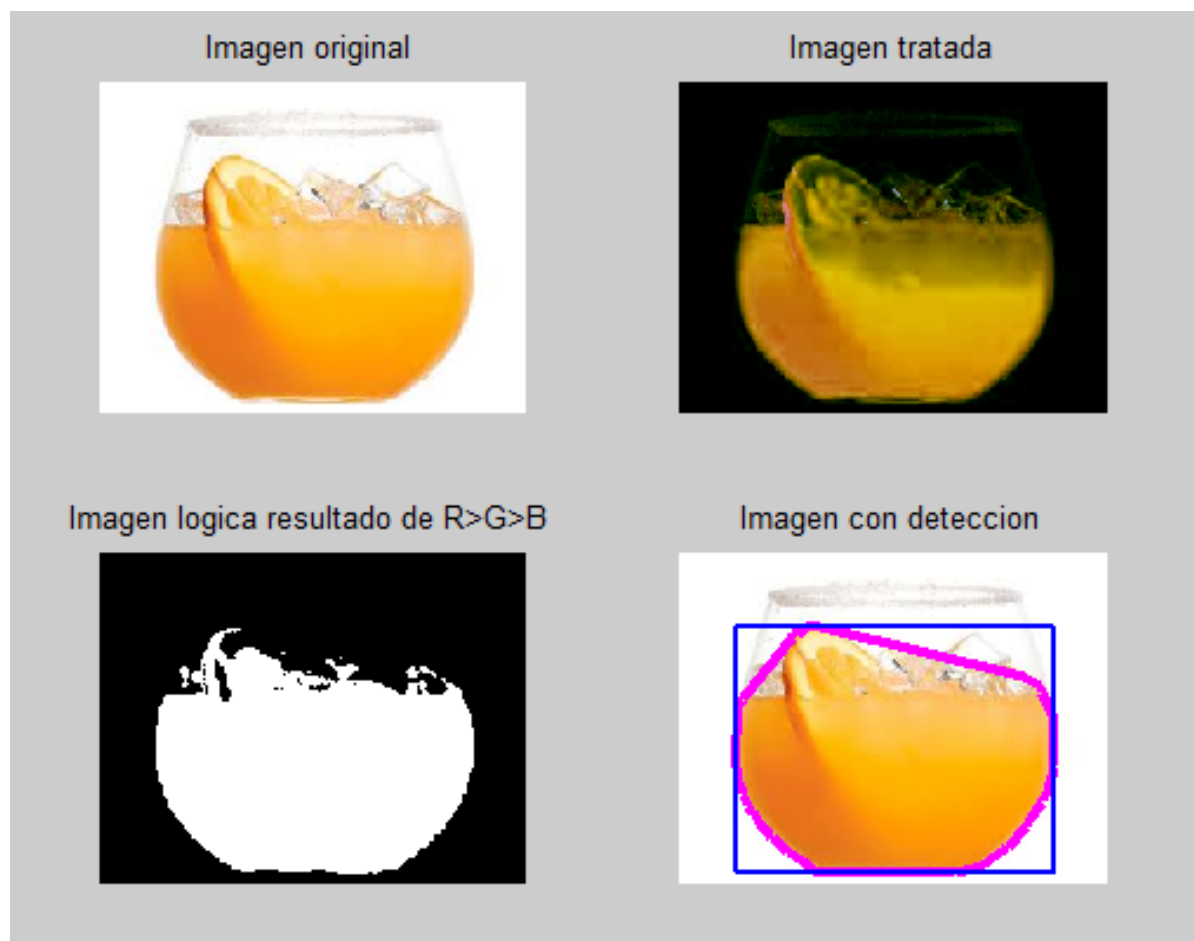


Ilustración 87.Objeto de color naranja con forma elíptica [33].

7.13 Personas en posición circular

Esta prueba permite ver la robustez de la aplicación, ante la variación de la posición de la cara. El resultado es bueno gracias a que el entorno es favorable. Ha considerado como cara parte del cuello en dos casos. En un caso aparecen dos caras juntas favorecida esta situación por el color del pelo de una de las personas. Y falta señalar una de las cara que probablemente no cumple las condiciones que hay establecidas para estimarla como una posible cara. El resultado es bueno. Y permite ver como se localizan caras en diferentes posiciones.



Ilustración 88. Personas en posición circular [32].

7.14 Imagen sin personas.

Esta prueba permite ver la robustez de la aplicación, ante imágenes que no contienen personas o piel de personas a la vista. Podemos observar que localiza dos posibles caras. Al realizar la localización por color y encontrar zonas de color parecido al de la piel, ha estimado que esas dos zonas cumplen las condiciones para considerarlas como posibles caras. Para lograr una localización más precisa en estas zonas, sería preciso añadir mejoras o complementar el sistema con otro, que sea capaz de mejorar el resultado de la localización y discriminación de estas zonas.

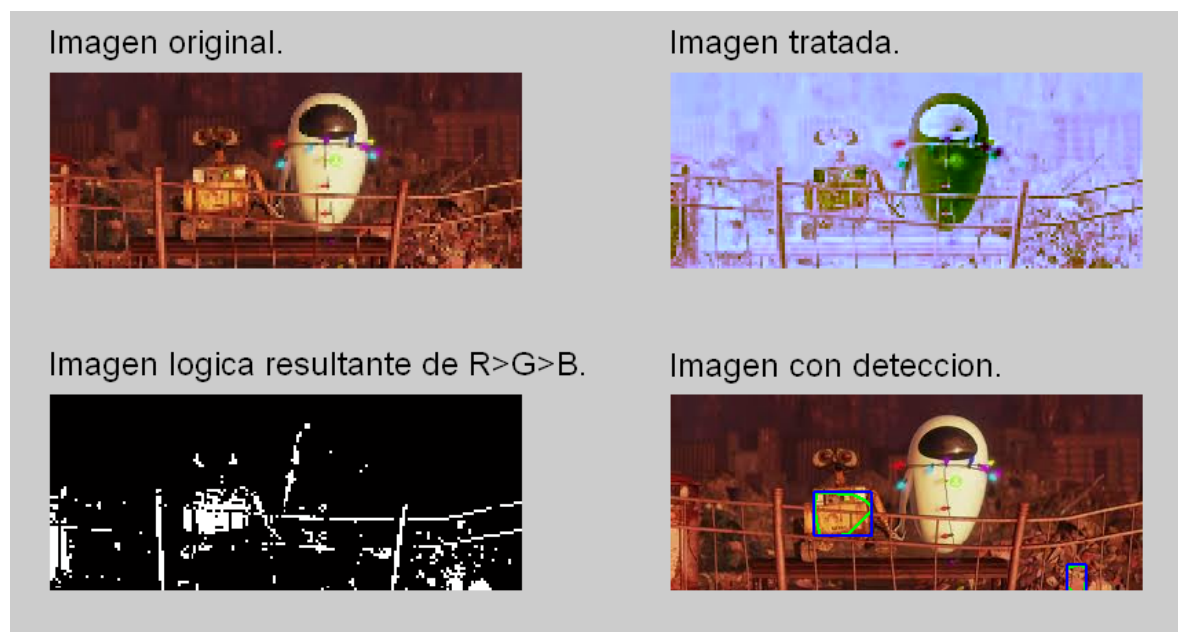


Ilustración 89. Imagen sin personas [34].

8 Conclusiones y futuras líneas de trabajo

8.1 Conclusiones

El proyecto aquí presentado, da una solución para localizar caras o partes del cuerpo de las personas, que no estén ocultas. Localiza las partes más nítidas de la piel y sus marcas.

8.1.1 Ventajas

- El sistema es capaz de localizar zonas de piel a la vista de personas de cualquier raza.
- El sistema puede ser rápido utilizando software únicamente, ya que las operaciones a realizar, son sencillas y se minimiza el número de ellas, desde el principio.
- Si se localiza una zona de unos con forma elíptica, en la que su representación booleana presenta en su interior zonas de ceros muy diferenciadas, estas pueden corresponder a características faciales como cejas, ojos, nariz y labios. Si son parametrizables pueden ser fácil ordenables, pues hay una alta probabilidad en que la zona de ceros de mayor superficie y que pueda localizarse con mayor claridad, corresponda a los labios, que la siguiente superficie o zona de ceros de mayor tamaño sea la zona de los orificios nasales, las dos siguientes sean los ojos y las dos siguientes sean las cejas. También se puede, tomando parámetros, verificar a que característica facial corresponde cada zona, teniendo en cuenta tamaño, orientación y ubicación entre ellas dentro de la elipse.
- Es posible implementar en hardware hasta el paso 3, en el que entrega la matriz booleana al paso 4.

- Permite la utilización de varios métodos complementarios (basados en el conocimiento, características invariantes, plantillas, apariencia y/o video) para conseguir un sistema de localización facial más robusto.

8.1.2 Inconvenientes

El sistema es robusto en cuanto a la localización de las zonas con piel a la vista, pero no en cuanto localizar caras a visibles (ver capítulo 7 “Resultados”):

- Se ha probado que son localizadas pero no marcadas, todas las caras presentes en una imagen.
- Las personas rubias y pelirrojas, dificultan la localización de su cara.
- Los fondos de colores que cumplen la condición $R > G > B$, dificultan la localización de las caras.
- Las personas que aparecen con las caras en contacto, los hombros descubiertos o con ropa de color anaranjado, dificultan la localización de sus caras. (Si se localizaran los labios, podría acotarse la parte inferior de las caras en estos casos).

8.2 Futuras líneas de trabajo

Con los resultados obtenidos, se plantean diversas líneas para trabajos futuros:

- Una de las líneas de trabajo para mejorar el sistema, está en la necesidad de automatizar el ajuste de los color rojo y el azul, utilizados para poner en situación favorable, la textura de la piel humana, en la localización de las caras u otras partes del cuerpo, en las que la piel es visible en la imagen tratada (Paso 2). Esto se consigue, con el ajuste de los colores en la cámara que adquiere las imágenes o sobre los colores de la imagen estática (foto), utilizando como estimador de los ajustes a realizar, alguno de los parámetros de la imagen obtenida en alguno de los pasos. En el caso de actuar sobre una

cámara, para ajustar los colores, permitiría conseguir una simplificación en los cálculos sobre los colores rojo y el azul. Para la regulación de los colores, puede usarse la estimación de un punto inicial de búsqueda, para el que se propone variar los colores rojo y azul, hasta que en la imagen binaria aparece zonas de unos que no superan los límites impuestos, para que sean considerados de utilidad en la localización o identificación de una cara, a partir de ese punto comenzar a variar los colores rojo y azul, para localizar las zonas que tienen consideración de cara, procediendo a comprobar si se encuentran dentro de la posible cara o caras, zonas de ceros que podrían ser ojos , cejas, nariz y/o labios, rasgos de mejor localización y permiten resolver casi todos los problemas, al dar una situación clara de su posición desde la que se puede referenciar el resto de los rasgos y límites de la cara. Cabe la posibilidad de localizar otras caras de forma más clara en distintos niveles de ajuste de los colores rojo y/o azul. El sistema requerirá el uso de dos cámaras, que recojan la misma imagen, pues la cámara utilizada para ajustar los colores, podría presentar variaciones grandes de alguno de ellos y no podría ser utilizada, junto con las localizaciones de las posibles elipses faciales, en el caso de pasarlos a un sistemas de identificación facial.

- Otra mejora sería la implementación en hardware hasta la obtención de la imagen booleana (paso 3), permitiendo que el pre-procesado de la imagen sea más rápido.
- Otra línea de trabajo, estaría en que una vez detectada una posible cara, para discriminar esta correctamente, habría que mejorar los requisitos que debe cumplir la elipse facial o/y hacer una estimación, de las posiciones que ocupan los puntos localizados dentro de la elipse, para ver si coinciden con las posible posiciones de cejas, ojos, nariz y labios. Y si fuera preciso analizar la forma, la textura (en la imagen original) o características de esos puntos, contenidos en la elipse y que entregaría en cada imagen binaria, de forma ordenada de mayor a menos superficie, cuyos tres primeros elementos con una alta

probabilidad, serian los labios y los dos ojos (como se ha explicado en el primer punto). Descartables con un análisis de situación relativa a la elipse y entre sí.

- Finalmente se puede destacar como línea de trabajo futuro, la de desarrollar el sistema añadiéndole otro u otros métodos complementarios para darle robustez (basados en el conocimiento, características invariantes, plantillas, apariencia y/o video), que permita analizar las zonas de piel localizadas, con el fin de discriminar las que pertenecen a una cara de las que no.

Bibliografía

Trabajos consultados

- [1]. “Transformada de Hough” Trabajo realizado en 1994 por: Luis Miguel Bergasa, Manuel Mazo, Pedro Martín, M^a José Azuara. Del departamento de Electrónica, Universidad de Alcalá de Henares (UAH). Publicado en EUROFACH electrónica. Actualidad y tecnología de la industria electrónica. Año XVIII. Noviembre del 1994.
- [2]. “La detección de caras en imágenes en escala de grises en tiempo real”, Trabajo realizado en Oct 1998 por: Dario Maio y Davide Maltoni. Universidad de Bolonia.
- [3]. “Detección de caras y extracción de características de los labios usando matrices programables en escala de grises” Trabajo realizado en 2006 “Detección de caras y extracción de características de los labios usando matrices programables en escala de grises” por: “Souhila Guerfi, Jean-Pierre Gambotto, Sylvie Lelandais”. En “Laboratoire Systemes Complexes”. France.
- [4]. “Detección de caras usando eigenface y redes neuronales” Trabajo realizado en 2008 “Detección de caras usando eigenface y redes neuronales” por: “C.C Tsai, W.C.C. Cheng, J.S. Taur y C.W. Tao”. En la Universidad de Taiwan “Conferencia internacional de 2008 en Taipei”.
- [5]. “Sistema multimodal para la localización de las cabezas y rostros” Trabajo realizado en 1996 “Sistema multimodal para la localización de las cabezas y rostros” por: “Hans Peter Graf, Dave Gibbon, Michael Kocheisen, Eric Patajan”. En: “ Lucent Technology, Bell Laboratories. Murray Hill, NJ”.

- [6]. “Aplicación del método de las cuencas hidrográficas en el espacio de color HSI para la extracción de la cara”, Trabajo realizado en Oct 1998 por:
“Duy Nguyen, David Halupka, Parham Aarabi y Ali Sheikholeslami”.
- [7]. “Recuperación de caras en una imagen usando HMMs (Hidden Markov Models)” Trabajo realizado en 1999 “Recuperación de caras en una imagen usando HMMs (Hidden Markov Models)” por:
“Alex Martínez”.
En: “Robot Vision Lab, School of Electrical and Computer Engineering Purdue University and Sony Computer Science Laboratory”. Paris. France.
- [8]. “Aprendizaje, por seguimiento en tiempo real y análisis de las caras” Trabajo realizado en 2000 “Aprendizaje, por seguimiento en tiempo real y análisis de las caras” por:
“Vinay P. Kumar and Tomaso Poggio”.
En: “Center for Biological and Computational Learning Department of Brain and Cognitive Sciences. MIT” Cambridge, EEUU.
- [9]. Tesis Doctoral: Procesamiento de Caras Humanas Mediante Integrales Proyectivas.
Autor: Ginés García Mateos
Director: Alberto Ruiz García
Murcia, 2007

Libros consultados

- [10]. Matlab y sus aplicaciones en las Ciencias y la Ingeniería. Autor: Cesar Pérez
- [11]. Tratamiento digital de imágenes. Autores: Rafael C. González y Richard E. Woods

- [12]. Visión por computador Fundamentos y métodos. Autor: Arturo de la Escalera
- [13]. Imágenes digitales Procesamiento práctico con Java. Autores: Gonzalo Pajares. Jesús M. de la Cruz. José M. Molina. Juan Cuadrado. Alejandro López.
- [14]. Visión por computador. Autor: Javier González Jiménez.

Nombre de las imágenes utilizadas y como se obtuvieron.

Las imágenes utilizadas, se han obtenido de publicaciones en páginas WEB, de las que se presenta las referencias de la página WEB en la que se publicó. Además hay dos fotos particulares de las que se presenta al final de este documento, que permite su uso en este proyecto y su inclusión en el mismo fichero que el resto de las imágenes, firmado por una de las personas que aparece en una de ellas (ANEXO A) y es tutor de las otras dos personas que se ven en ellas. Además se indica la referencia de otra en documentos o la forma de obtenerlas con una aplicación.

(Se incluye fichero de imágenes referenciadas en los datos dados a continuación)

- [15]. distancias1

<http://www.metodobadra.com/trayectoria>

- [16]. fondoazul1

http://lebasich.blogspot.com.es/2011_07_01_archive.html

- [17]. razaamarilla1

<http://www.taringa.net/posts/imagenes/10059694.R/18-imagenes-antiguas-que-creias-no-existian.html>

[18]. fondonaranja1

<http://www.vlccidad.com/la-reina-de-las-casas-regionales-de-valencia-felicita-el-2012/>

[19]. pelirrojo2

<http://cogito-therefore-existo.blogspot.com.es/2011/04/el-nuevo-look-de-blake-lively-ahora.html>

[20]. pelirrojo3

<http://laislabuscada.es/en-hollywood-triunfan-las-pelirrojas>

[21]. rubio3

<http://www.bokelberg.com/ES/search/gallery/93615/20/1/>

[22]. bañador1

<http://famosos-blog.com/supervivientes-2011-las-chicas-en-bikini/>

[23]. rapado2

<http://www.esmas.com/mujer/belleza/cabello/732875.html>

[24]. ropanaranja1

<http://charlasdeseguridad.com.ar/2011/06/brigadas-de-emergencia/>

[25]. rapado5

<http://techtres.net/famosos-calvos-fotos/>

[26]. varias1

<http://blogs.vandal.net/3996/va/3-2008>

[27]. varias2

<http://www.peopleenespanol.com/article/video-thalia-y-laura-zapata-celebran-juntas-la-navidad>

[28]. casa

[29]. alvaro1

[30]. rapado1

<http://www.blogodisea.com/2012/por-que-calvos-conservan-pelo-resto-del-cuerpo/cuerpo-humano/>

[31]. varios4

<http://www.lacrimosarequiem.com/>

[32]. Distancias2

<http://liderazgoeficaz.com/page/10/>

[33]. circular1

<http://es.dreamstime.com/fotos-de-archivo-libres-de-regal-iacuteas-personas-felices-aislado--image5474888>

[34]. tragonaranja1

<http://www.okdietas.com/3738/brindis-para-las-fiestas-trago-de-naranja-al-conac/>

[35]. Wally

<http://www.nosoydirectordecine.com/blog/2010/01/las-mejores-peliculas-de-la-decada-%C2%BFno/>

[36]. La figura 1 se obtiene al ejecutar el siguiente código en MATLAB:

```
I = imread('circuit.tif');
rotI = imrotate(I,33,'crop');
BW = edge(rotI,'canny');
[H,T,R] = hough(BW);
imshow(H,[],'XData',T,'YData',R,...
        'InitialMagnification','fit');
xlabel('\theta'), ylabel('\rho');
axis on, axis normal, hold on;
P = houghpeaks(H,5,'threshold',ceil(0.3*max(H(:))));
x = T(P(:,2)); y = R(P(:,1));
plot(x,y,'s','color','white');
% Find lines and plot them
lines = houghlines(BW,T,R,P,'FillGap',5,'MinLength',7);
figure, imshow(rotI), hold on
```

```

max_len = 0;
for k = 1:length(lines)
    xy = [lines(k).point1; lines(k).point2];
    plot(xy(:,1),xy(:,2),'LineWidth',2,'Color','green');

    % Plot beginnings and ends of lines
    plot(xy(1,1),xy(1,2),'x','LineWidth',2,'Color','yellow');
    plot(xy(2,1),xy(2,2),'x','LineWidth',2,'Color','red');

    % Determine the endpoints of the longest line segment
    len = norm(lines(k).point1 - lines(k).point2);
    if ( len > max_len)
        max_len = len;
        xy_long = xy;
    end
end

% highlight the longest line segment
plot(xy_long(:,1),xy_long(:,2),'LineWidth',2,'Color','cyan');

```

[37]. Varios5

<http://www.taringa.net/posts/noticias/4613941/Surface-la-mesa-tactil.html>

NOTA : El resto de las imágenes usadas son porciones de las que aquí se documentan.

ANEXO A

Tratando de cumplir con la Ley de Protección de Datos se incluye en este anexo los permisos de uso y tenencia de algunas imágenes, en un fichero controlado de imágenes.

Dentro del desarrollo del Proyecto Final de Carrera “SISTEMA DE PRE-PROCESADO DE IMÁGENES PARA LOCALIZACIÓN DE PERSONAS” en la Universidad Carlos III de Madrid de Leganés, se está realizando una evaluación de imágenes estáticas. Para ello, cada persona o tutor de las que aparecen en las imágenes que se utilizarán para tratar la información biométrica que presentan cede dichas imágenes para estos fines.

Durante las sesiones de pruebas se capturarán una serie de imágenes con nombres en el archivo que se adjunta de “casa” y “alvaro1” en formato “jpeg”.

No se relacionaran estas imágenes con datos de filiación y si legaran a tener no serán publicados, para garantizar la privacidad de los voluntarios, ya que este tipo de datos no serán objeto de tratamiento ni estudio de ningún tipo. Los otros datos de carácter personal (imágenes) irán vinculados a un nombre de fichero antes reseñado, pero nunca de forma directa a la identidad real del voluntario.

Los datos biométricos recogidos en las diferentes sesiones tienen consideración de datos de carácter personal y no se consideran datos especialmente protegidos de acuerdo con los artículos 7 y 8 de la Ley Orgánica 15/1999 de protección de datos de carácter personal. Aún así, estos datos se almacenarán de forma segura en un fichero, para garantizar siempre la integridad y la confidencialidad.

Los datos de filiación proporcionados se guardarán en un fichero para poder contactar con el usuario en futuras evaluaciones. Este hecho podrá ser revocado en cualquier momento mediante comunicación escrita al responsable del fichero (ver datos más abajo) adjuntando fotocopia del DNI y causa por la que se solicita. El responsable del fichero cuenta con 30 días a partir de la recepción de dicha petición para llevarla a cabo.

Los datos del responsable de fichero son:

Alumno desarrollador del FPC: D. Ángel José de Dios Bragado
Tutor de PFC: D. Raúl Sánchez Reillo
Universidad Carlos III de Madrid
Avda. Universidad, 30
28911 – Leganés (Madrid)
Referencia del nombre del fichero "Fotos prueba3"

De forma directa, la única institución que podrá tener acceso a los datos del fichero objeto de la presente autorización, será la Universidad Carlos III de Madrid, y sus instituciones dependientes.

POR TANTO:

Yo Ángel José de Dios Bragado_con DNI 11.955.565-G declaro que he leído las anteriores condiciones y estoy de acuerdo en participar en la evaluación. Y que a partir de este momento, se pueden ser utilizadas la imágenes estáticas en cuantos desarrollos se requiera. Y para que conste firmo la presente autorización.

Fecha: 5-5-2012



